



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM FORNO SOLAR
PARA ASSAMENTO DE ALIMENTOS FABRICADO A PARTIR DE
TAMBOR DE POLIETILENO**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Como parte dos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

SALOMÃO SÁVIO BATISTA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Dezembro de 2013
Natal - RN



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM FORNO SOLAR
PARA ASSAMENTO DE ALIMENTOS FABRICADO A PARTIR DE
TAMBOR DE POLIETILENO**

SALOMÃO SÁVIO BATISTA

PPGEM MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Orientador: Luiz Guilherme Meira de Souza

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN

Prof. Dra. Priscylla Cinthya Alves Gondim - IFRN

Prof. Dr. Marcos Silva de Aquino – UFRN

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Batista, Salomão Sávio

Análise do desempenho térmico de um forno solar para assamento de alimentos fabricados a partir de tambor de polietileno. / Salomão Sávio Batista. – Natal, RN, 2013.

70 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Energia solar - Dissertação. 2. Forno solar - Dissertação. 3. Ecologia - Dissertação. 4. Reutilização de matérias - Dissertação. 5. Tambor de polietileno – Dissertação. I. Souza, Luiz Guilherme Meira de. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.472

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

Dedicatória:

Dedico essa minha conquista a todas as pessoas que sempre me ajudaram e contribuíram para eu chegar a esse momento, entre elas minha mãe Maria das Graças, Lidianne Pita, minhas tias Maria Dulce, Socorro Martins e Neves Batista e seus respectivos esposos.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiro a Deus que me deu a oportunidade de estudar, aprender e crescer como profissional e em seguida a minha mãe (Maria das Graças Batista) e as minhas tias e suas famílias (Maria Dulce, Socorro Martins e Neves Batista) por sempre me ensinarem as coisas boas da vida profissional além de caráter, respeito e amor ao que fazemos.

Quero agradecer também aos meus primos que sempre foram grandes amigos e companheiros nos momentos de dificuldade.

Sei que são os nossos amigos que podem nos mostrar as melhorias e corrigir o que precisamos, portanto quero agradecer aos meus amigos dentre eles Paulo Ricardo e o professor Kenedy Marconi dois grandes irmãos que sempre me orientarão quanto aos passos para terminar essa dissertação além de toda as outras áreas em minha vida.

Agradeço com humildes e simples palavras ao professor Dr. Guilherme Meira de Souza por ter sido não apenas um orientador, mas um amigo, alguém que nas nossas horas de dificuldade e vontade de desistir, nos deu toda força possível, nos ensinou a sermos professores e não juízes, ensinou que ensinar é educar e não apenas cumprir o cronograma e o conteúdo, muito obrigado.

Agradeço também a Lidiane a mulher que encantou meu coração desde o começo, que me mostrou o que é companheirismo e digo que sem você essa conquista não seria possível.

Quero prestar meus agradecimentos aos professores do IFBA: Leandro Ribeiro, Silvana Viana e todos os outros professores.

Ao PPGEM por toda oportunidade de crescimento através do mestrado e os professores Rasiah Ladchumananandasivam, Ubiragi, Raimundo Júnior, Marcos Aquino e a professora Priscylla Cinthya que fizeram de tudo para me ajudar, orientando as correções para com a dissertação.

Aos meus colegas de laboratório Pedro, Flavio, Kalionara, Natanaefly, Tiago, Aldo Paulino, Ricardo, Carlos, Lion, e todos os demais participantes do LMHES.

RESUMO

Com o crescimento da população e a necessidade do aumento do consumo energético no Brasil e no mundo, é notória a importância do uso de energias tidas como renováveis para suprir essa demanda. Pensando nisso, o estudo de fontes renováveis, como a energia solar, é uma opção para resolver tal problemática. O projeto exposto vem como uma das alternativas de suprir essa problemática com o foco uso da energia para a cocção de alimentos e diminuir o uso de fontes que poluem o meio ambiente com geração de gás carbônico tendo como outro foco a diminuição do desmatamento e da desertificação, ambos originários do uso da lenha e de combustíveis fósseis como fonte de energia. Foram confeccionados dois protótipos feitos com tambores de polietileno caracterizando como uma atividade de reuso ou reciclagem já que iriam ser depositados no meio ambiente. Os fornos foram testados para produzirem o assamento de alguns alimentos convencionalmente preparados em fornos convencionais a gás. No mais eficiente dos protótipos a temperatura do absorvedor alcançou 120,8°C. Os tempos de assamento para tais alimentos foram superiores aos obtidos com o forno convencional a gás, porém competitivos com outros fornos solares mostrados pela literatura solar para assamento de alimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, forno solar, ecologia, reutilização de materiais, tambor de polietileno.

ABSTRACT

With population growth and the need for increased energy consumption in Brazil and worldwide, it is clear the importance of using renewable energies as taken to meet this demand. Thinking that, the studies from renewable sources such as solar power is an option to resolve such problems. The project has been exposed as an alternative to overcome this problem with the use of focused energy to cook food and decrease the use of sources that pollute the environment with carbon dioxide generation focusing on the secondary does not increase deforestation, desertification, both of which originate from the use of wood and fossil fuels as an energy source. For both two prototypes were fabricated for comparison, both being made with polyethylene drums featuring as an active reuse or recycling, since the same would be deposited in the environment. The ovens were tested to yield the baking of some foods conventionally prepared in conventional gas ovens. In more efficient prototypes temperature of the absorber reached 120.8 ° C. The baking times for such foods were higher than those obtained with the conventional gas oven, but competitive with other solar ovens shown by solar literature for baking food.

KEYWORDS: Solar energy. Solar oven. Ecology. Reuse of materials. Polyethylene drum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Produção de Energia Primária para cocção de alimentos.....	16
Figura 2	Fontes de Energia para geração de eletricidade.....	17
Figura 3	Organograma das fontes de energia.....	19
Figura 4	Tipos de radiação solar.....	21
Figura 5	Insolação W/m^2	22
Figura 6	Primeiro forno solar fabricado na UFRN.....	23
Figura 7	Primeiro fogão solar fabricado na UFRN.....	23
Figura 8	Fornos solares fabricados na UFRN.....	24
Figura 9	Fogão solar à concentração estudado por Queiroz.....	25
Figura10	Fogão solar à concentração estudado por Lion.....	26
Figura11	Forno solar fabricado a partir de uma sucata de fogão convencional a gás e estudado por Melo.....	27
Figura12	Fogão solar à concentração utilizado para o aquecimento do ferro de engomar.....	28
Figura13	Forno solar tipo caixa fabricado em material compósito.....	29
Figura14	Fogão solar utilizando uma sucata de antena como superfície parabólica.....	30
Figura15	Forno solar utilizando uma sucata de pneu na operação de assamento estudado por Gomes.....	31
Figura16	Forno solar fabricado em material compósito e estudado por Souza.....	32
Figura17	Fogão solar fabricado a partir de uma urupema.....	33
Figura18	Fogão solar fabricado a partir de duas sucatas de antenas.....	34
Figura19	Fogão solar com parábola captadora e refletora fabricado em material compósito.....	35
Figura20	Forno solar fabricado a partir de uma sucata de tambor de polietileno..	36
Figura21	Forno solar fabricado a partir de uma caixa de EPS.....	36
Figura22	Forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer.....	37
Figura23	Forno solar fabricado a partir de três pneus usados.....	38
Figura24	Forno solar fabricado a partir de sucatas de banco e vidro.....	39
Figura 25	Forno solar fabricado a partir de placas de material compósito de baixa condutividade térmica.....	40
Figura 26	Forno solar fabricado em caixa térmica para assamento de mais de	

dois alimentos simultâneos.....	41
Figura 27 Forno solar fabricado a partir de placas de compósito polimérico de baixa condutividade térmica.....	42
Figura 28 Forno solar com recinto solar fabricado totalmente em vidro.....	43
Figura 29 Fogão solar fabricado de compósito a partir de cabelo humano.....	44
Figura 30 Forno solar fabricado em caixa térmica com perfil em degrau para concentração dos raios solares.....	45
Figura 31 Tambor de Polietileno 200 litros.....	47
Figura 32 Etapas do processo de fabricação – Protótipo 01.....	48
Figura 33 Protótipo I em ensaio no LMHES/UFRN.....	49
Figura 34 Etapas dos processos de fabricação e montagem do Protótipo II.....	50
Figura 35 Etapas dos processos de fabricação e do Protótipo II finalizado.....	50
Figura 36 Protótipo 01 em testes.....	51
Figura 37 Assamento de uma pizza no protótipo I.....	56
Figura 38 Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de uma pizza no forno solar – Protótipo I	57
Figura 39 Pizza em assamento e após assada no Protótipo I.....	57
Figura 40 Assamento de uma lasanha no forno solar - Protótipo I.....	58
Figura 41 Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de uma lasanha no forno solar – Protótipo I.....	58
Figura 42 Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de pizza + nuggets no forno solar – Protótipo II.....	61
Figura 43 Nuggets e pizza em processo de assamento no forno estudado.....	61
Figura 44 Bolo + Empanados em assamento simultâneo.....	63
Figura 45 Bolos em processo de assamento e após assados no Prototipo II.....	64
Figura 46 Disposição dos pontos de medição nas superfícies externas do forno solar com seus respectivos valores.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resíduos Sólidos em porcentagem na cidade de São Paulo.....	20
Tabela 2	Dimensões do forno solar fabricado.....	47
Tabela 3	Dimensões do Protótipo II.....	49
Tabela 4	Energias envolvidas no balanço energético do forno solar estudado.....	54
Tabela 5	Temperaturas no interior do forno e radiação solar global durante o ensaio de assamento de uma pizza – Protótipo I.....	54
Tabela 6	Resultados térmicos do teste para assamento de uma lasanha no Protótipo I.....	57
Tabela 7	Resultados dos testes para o assamento de uma pizza e nuggets de frango – Protótipo II.....	60
Tabela 8	Resultados coletados no ensaio de assamento simultâneo: bolo + empanados – Protótipo II.....	62
Tabela 9	Resultados do teste para assamento simultâneo de dois bolos no Protótipo II.....	64
Tabela 10	Comparação entre os tempos de secagem obtidos com fornos solares e forno convencional a gás.....	66

LISTA DE ABREVIACÕES

α_f	Absortividade da forma
A_v	Área do vidro (m^2)
A_{ue}	Área útil dos espelhos (m^2)
A_{up}	Área útil da parábola (m^2)
A_{sf}	Área superior da forma (m^2)
A_{bf}	Área da base do forno (m^2)
C	Fator de concentração solar
E_{abs}	Energia absorvida pela forma (Wh)
E_{ef}	Energia que entra no forno (Wh)
E_g	Energia proveniente da radiação solar que incide diretamente no forno (Wh)
E_{re}	Energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno (Wh)
E_{sf}	Energia que chega à parte superior da forma (Wh)
E_{gsf}	Energia solar global que incide diretamente na parte superior da forma (Wh)
E_{resf}	Energia refletida pelos espelhos externos que incide na parte superior da forma (Wh)
E_{cpr}	Energia solar que chega à parábola (Wh)
E_{gpr}	Energia solar global que incide na parábola (Wh)
E_{repr}	Energia solar refletida que incide na parábola (Wh)
E_{bf}	Energia total na base da forma (Wh)
E_{cf}	Energia total que chega a forma (Wh)
E_{pf}	Energia perdida pelo forno (Wh)
I_G	Radiação instantânea global que entra no forno solar (W/m^2)
I_D	Radiação instantânea direta que entra no forno solar (W/m^2)
LHMS	Laboratório de máquinas hidráulicas e energia solar
ρ_e	Refletividade do espelho
τ_v	Transmissividade do vidro
R_{if}	Rendimento interno do forno (%)
$T_{interna}$	Temperatura interna do forno ($^{\circ}C$)
$T_{absorvedor}$	Temperatura do absorvedor (forma) ($^{\circ}C$)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	FONTES DE ENERGIA NA ECOSFERA	16
2.2	CONCEITO DE ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS	17
2.3	CONCEITOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	18
2.4	DEGRADAÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	19
2.5	RADIAÇÃO SOLAR	20
2.5.1	IRRADIÂNCIA	21
2.5.2	INSOLAÇÃO	22
2.6	HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR NO LMHES	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	CONSTRUÇÃO DO FORNO SOLAR	46
3.1.1	PROTÓTIPO 01	46
3.1.2	PROTÓTIPO 02	49
3.2	BALANÇO TÉRMICO DO FORNO SOLAR-PROTÓTIPO II	52
4	RESULTADOS E DIRCURSSÕES	54
4.1	BALANÇO ENERGÉTICO DO FORNO	54
4.2	RESULTADOS PROTÓTIPO 01	55
4.3	RESULTADOS PROTÓTIPO 02	60
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	67
6	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

O objeto de estudo pretende demonstrar a eficiência de um equipamento capaz de realizar o assamento de alimentos com baixo custo, boa eficiência e condições de fabricação e operação favoráveis a pessoas carentes e de baixo nível de instrução, essa iniciativa advém da ideia de promover uma acessibilidade da academia junto a sociedade, pois o conhecimento gerado nas universidades em grande parte não chegam aos lares e empresas da cidade ou ao seu entorno.

Diante dessa visão, outro fator bastante importante é gerarmos tecnologia e produtos baseados na reciclagem de materiais, que em outrora causaria dano ao meio ambiente seja na forma de resíduo ou má aproveitamento, que agora servirá de um instrumento para a redução do uso de materiais a combustão capazes de aumentar o efeito estufa ou outros problemas.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem e continua tendo grande importância na Matriz Energética Brasileira, participando com cerca de 10% da produção de energia primária (Balanço Energético Nacional, 2008- www.mme.gov.br).

Cerca de 40% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (29%). Geralmente ela é destinada a cocção dos alimentos nas regiões rurais (colocar a fonte). Uma família de oito pessoas necessita de aproximadamente 2,0 m³ de lenha por mês para preparar suas refeições. O setor industrial vem em seguida com cerca de 23% do consumo. As principais indústrias consumidoras de lenha no país são alimentos e bebidas, cerâmicas e papel e celulose.

Esses dados mostram a massiva utilização da lenha, colocando em risco a saúde do planeta, apontam para a necessidade de uma política de massificação do uso do fogão solar para cocção de alimentos, como forma de preservar a natureza e ainda para amenizar o desequilíbrio ecológico pelo uso indiscriminado da lenha, além de minimizar a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

O uso da energia solar para fins de cozimento e assamento de alimentos é uma das aplicações mais antigas e difundidas dessa fonte energética, e tem como principal característica sua função social. É importante constatar que pessoas na África utilizam massivamente fogões e fornos solares, contribuindo para uma política de não utilização da lenha, que contribui decisivamente para o equilíbrio ambiental de nosso planeta.

No sertão nordestino assolado pelas secas, o sertanejo sofre com a fome e a sede devido à inclemência do sol sobre suas terras áridas. O uso de fogões/fornos solares na caatinga promete reverter ou ao menos amenizar essa situação possibilitando ao sertanejo uma melhor condição de vida.

Esse trabalho apresenta um modelo de um forno solar destinado a assar construído a partir de uma sucata de tambor de polietileno utilizada para depósito de lixo ou água.

Foram construídas duas versões denominadas de Protótipos I e II. Na primeira versão por apresentar perfil cilindro-parabólico o foco da superfície refletora era linear, permitindo a utilização de até três painéis no seu interior. Na segunda versão o assamento foi obtido através do efeito estufa e da concentração da radiação solar.

O forno proposto é um protótipo solar de média concentração destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00 às 14:00 horas, principalmente, para a operação de assar alimentos, tais como: pães, bolos, pizzas, lasanhas, entre outros.

A principal inovação do trabalho será a utilização de um tambor de polietileno utilizado inicialmente para armazenagem de produtos químicos ou petroquímicos, após essa utilização foram utilizados como de armazenamento de água ou lixo, proporcionando a obtenção de um forno com maior volume interno que os usualmente construídos, largamente disponível no mercado, de baixo custo e com uma estrutura já definida e construída, evitando-se a confecção de molde para a obtenção da caixa. Ressalta-se que o material do tambor é um isolante térmico.

Outra inovação será o projeto e a construção de um novo perfil de sistema refletor, a partir de um segmento do próprio tambor, para direcionar os raios solares para o interior do forno Protótipo I. Tal sistema apresenta um perfil que se aproxima de uma parábola, aumentando a área de captação da radiação e de reflexão dos raios para o interior do forno.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

Demonstrar e analisar a capacidade do forno proposto em realizar o assamento de vários alimentos.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Projetar, construir e definir o local para fixação dos termopares no forno;
- Testar o forno para o assamento de vários alimentos;
- Analisar e comparar seus resultados com outros fornos já ensaiados no LMHES;
- Demonstrar a viabilidade térmica dos fornos estudados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo aborda-se os conhecimentos relacionados as energias não renováveis, energias renováveis, energia solar e o histórico da energia solar no laboratório de máquinas hidráulicas e energia solar.

2.1 FONTES DE ENERGIA NA ECOSFERA

No entendimento de Braga *et al* (2005) as radiações provenientes do Sol constituem a principal fonte de energia da terra, cerca de 99% da radiação térmica utilizada pelos ecossistemas provem desse enorme "gerador". Caso o Sol não existisse a temperatura terrestre seria da ordem de -200 graus negativos. O restante da energia consumida pela ecosfera (1%) é obtido a partir de outras fontes, as chamadas fontes primárias de energia sendo convertidas pelo homem em outras formas de energia, ou seja, elétrica, química, térmica e mecânica.

Temos alguns exemplos do uso dessa energia como: aquecimento de ambientes, processos industriais, transporte, aquecimentos de materiais com finalidade construções dentre outras.

Os recursos energéticos primários são divididos em dois grupos estratégicos como: Energias Não renováveis e Renováveis.

Segundo dados obtidos pelo Ministério das Minas e Energias no seu balanço energético anual ano 2011, quanto ao uso de energia para cocção de alimentos, temos a produção de energias primária no Brasil. O Gráfico da Figura 1 mostra a produção de energia primária para cocção de alimentos.

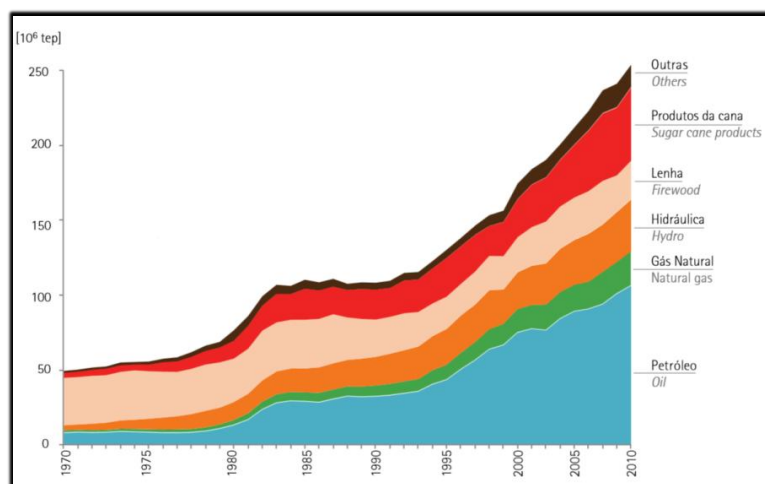


Figura 1. Produção de Energia Primária para cocção de alimentos. **Fonte:** BEM (2011), Ministério das Minas e Energias.

2.2 CONCEITOS DE ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS

No entendimento de Thomas *et al* (2001), é definida como energia não renovável as fontes de energia cuja produção não se renova, ou seja, ela é finita, provocando assim uma escassez em um determinado período de consumo. Essa limitação na produção pode ser tida como uma escassez propriamente dita, onde a reserva acabou, ou até então pela falta de acessibilidade ou de extração deste tipo, seja por falta de tecnologia ou por custos altíssimos de produção que não compensarão o seu uso pela sociedade.

Temos grandes exemplos dessa fonte de energia na sociedade atual, sendo os combustíveis fósseis os agentes motores de diversos países, assim mostrados no gráfico da Figura 2.

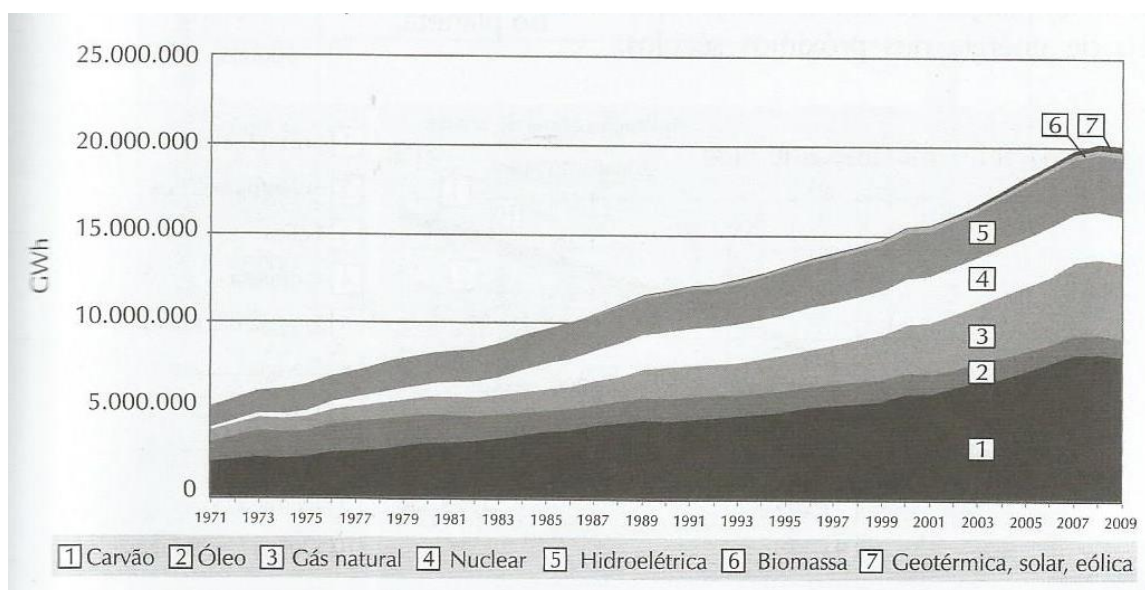


Figura 2. Fontes de Energia para geração de eletricidade. **Fonte:** Villalva e Gazoli (2012)

Combustíveis fósseis são depósitos naturais de petróleo, de carvão e gás natural, que são constituídos da energia solar armazenada na forma de energia química, essa energia é proveniente da reação básica da matéria orgânica denominada fotossíntese, em depósitos geológicos formados há milhões de anos a partir da decomposição dessa matéria orgânica associado a altas pressões e temperaturas.

O petróleo no entendimento de Thomas *et al* (2001) é chamado assim por advir do Latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável,

menos densa que a água, com cheiro característico, e cor variando entre o negro e o castanho claro.

Outra fonte de energia não renovável é o carvão mineral, ele é constituinte de grande potência de geração de calor, foi um dos grandes motores da economia mundial a partir da constituição dos motores movidos a vapor e foi somente a partir dessa fonte de energia que tivemos a revolução industrial na Inglaterra proporcionando ao mundo uma nova forma de geração de movimento que antes era instituída pela forma motora do homem e seus animais domesticados.

Por último temos o gás natural que é entendido como uma mistura de hidrocarbonetos (hidrogênio e carbono) gasosos cuja composição abrange o metano (CH_4) ao hexano (CH_6), sendo o metano o principal componente. Assim como, os outros combustíveis fósseis são grandes agentes para produção de calor, geralmente o gás natural é bastante empregado como fonte de energia para diversos setores da economia, como, por exemplo, termelétricas, geração de vapor, alimentícia, entre outros.

2.3 CONCEITO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

No entendimento de Villalva e Gazoli (2012) as fontes renováveis de energia são assim chamadas, pois são consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Podemos utilizá-las continuamente e nunca se acabam, pois sempre se renovam.

Na ideia de Bezerra (2002) de maneira geral, são consideradas renováveis as fontes de energia que não se apoiam em recursos que são reconhecidamente limitados e cujo uso não causa seu esgotamento, por outro lado, as fontes de energias tidas como não renováveis são baseadas em combustíveis fósseis ou outros recursos minerais que vão se esgotando com o uso.

Para o entendimento de Layrargues (2000) as energias tidas como limpas são energias que produzem um impacto bem menor na sua geração e utilização, temos como exemplo a eólica que gera impacto visual, no entanto, é detentora de um potencial bastante menor que outras energias tidas como fósseis, como é o caso do petróleo e seus derivados.

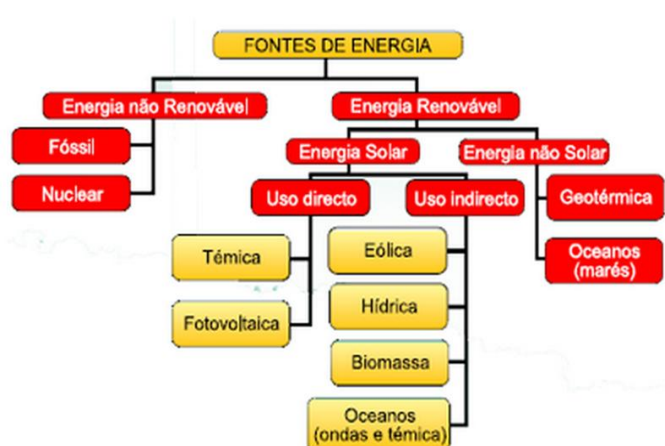


Figura 3 - Organograma das Fontes de Energia.
Fonte: ecoguia.cm-mirandela.pt/index.php?oid=86

2.4 DEGRADAÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A degradação ambiental, compreende o processo pelo qual o ser humano provoca a poluição no meio ambiente. A poluição é um dos agentes que prejudicam em grande escala a vida humana na terra, além de causar danos irreparáveis a natureza como um todo seja fauna ou flora.

No entendimento de Braga *et al* (2005) a poluição é percebida como uma forma de alteração das características naturais da fauna ou da flora por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem.

Em se tratando de poluição temos três tipos básicos: poluição das águas, dos solos e do ar.

A poluição é muitas vezes utilizada quando se introduz em corpos d'água ou no solo materiais que são difíceis ou quase impossíveis de se degradarem provocando assim problemas ambientais durante anos ou até séculos.

Os resíduos urbanos em uma zona urbana são constituídos por desde aquilo que vulgarmente se denomina "lixo" (mistura de resíduos provenientes de preparo de alimentos, higiene pessoal, da residência, e do local de trabalho, ambientes industriais, dentre outros) até resíduos especiais, e quase sempre mais problemáticos e perigosos, provenientes de atividades profissionais e ambientes hospitalares. A Tabela 1 apresenta os percentuais de resíduos na cidade de São Paulo.

Tabela 1. Resíduos Sólidos em porcentagem na cidade de São Paulo.**Fonte:** Braga *et al* (2005).

MATERIAL	1927	1957	1969	1976	1991	1996	1998	2000	2003
Matéria orgânica	82,5	76	52,2	62,7	60,6	55,7	49,5	48,2	57,5
Papel, papelão e jornal	13,4	16,7	29,2	21,4	13,9	16,6	18,8	16,4	11,1
Embalagem longa-vida	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,9	1,3
Plásticos	-----	-----	1,9	5	11,5	14,3	22,9	16,8	16,8
Metais ferrosos	1,7	2,2	7,8	3,9	2,8	2,1	2	2,6	1,5
Metais não-ferrosos (alumínio)	-----	-----	-----	0,1	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7
Trapos, panos, couro e borracha	1,5	2,7	3,8	2,9	4,4	5,7	3	*	4,1
Pilhas e baterias	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,1	0,1
Vidros	0,9	1,4	2,6	1,7	1,7	2,3	1,5	1,3	1,6
Terra e pedra	-----	-----	-----	0,7	0,8	-----	0,2	1,6	0,7
Madeira	-----	-----	2,4	1,6	0,7	-----	1,3	2	1,6
Diversos	-----	0,1	-----	-----	1,7	2,6	-----	9,3	1

Diante dessa realidade de deposição dos resíduos sólidos o benefício de construção de um forno solar com tambor de polietileno é tentar minimizar esse efeito, pois o tambor, além de outros componentes, como aços e alumínio empregados no projeto de construção, seja como estrutural, seja como reservatório, todos os componentes advindos da reciclagem são resíduos que demoram um enorme período para se decompor, assim beneficiando o meio ambiente e as novas gerações.

2.5 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar sofre a influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes de chegar ao solo ser captada por células e módulos fotovoltaicos.

A radiação que atinge uma superfície horizontal do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens.

A radiação global é a soma da radiação difusa. A radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetivos. Já radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do Sol. A Figura 3 mostra os diferentes tipos da radiação solar.

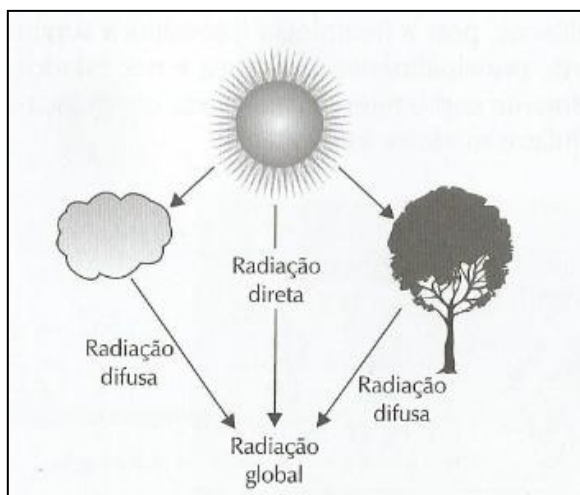


Figura 4. Tipos de radiação solar.

Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

A radiação global poder ser medida por um instrumento denominado Piranômetro, que consiste em uma redoma de vidro que recebe a luz em todas as direções e a concentra em um sensor de radiação solar instalado em seu interior.

A radiação direta pode ser medida com um instrumento chamado pireliômetro, composto por um sensor de radiação solar instalado dentro de um tubo com uma abertura de luz estreita, de modo que somente a luz direta, recebida do sol em linha reta, possa alcançar o sensor.

Medidas de radiação solar também podem ser realizadas com sensores baseados em células fotovoltaicas de silício. Esses sensores capturam uma faixa mais estreita do espectro solar e não conseguem distinguir a radiação direta difusa, mas são suficientes para a maior parte das aplicações fotovoltaicas.

2.5.1 IRRADIÂNCIA

A quantificação da radiação solar é a irradiância, também chamada de irradiação, expressa em unidades de W/m^2 (watt por metro quadrado). Trata-se de uma unidade de potência com área. Como se sabe, a potência é uma grandeza física que expressa a energia suportada durante certo intervalo de tempo, ou a taxa de variação da energia com o tempo. Quanto maior a potência da radiação solar, mais energia ela transporta em um determinado intervalo de tempo.

A medida da irradiância em W/m^2 é muito útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Com o valor padrão de 1000 W/m^2 , sendo largamente empregado nos catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos.

Na superfície terrestre a irradiância da luz solar é tipicamente em torno de 1000 W/m^2 . Já no espaço extraterrestre numa distância média entre o Sol e a Terra a irradiância chega aos 1400 W/m^2 .

Importante citarmos que realizando uma medição da Irradiação com um sensor e armazenando os valores obtidos ao longo de um dia, pode-se calcular a quantidade de energia recebida do sol por uma determinada área naquele dia. Podendo prolongar este estudo para faixas maiores como semanas, meses, anos.

2.5.2 INSOLAÇÃO

A insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície ao longo de um determinado intervalo de tempo. Sua unidade é o Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado). O watt-hora por metro quadrado é uma unidade física de energia que expressa a densidade de energia por área. A Figura 4 mostra um diagrama esquemático para explicar o conceito de insolação.

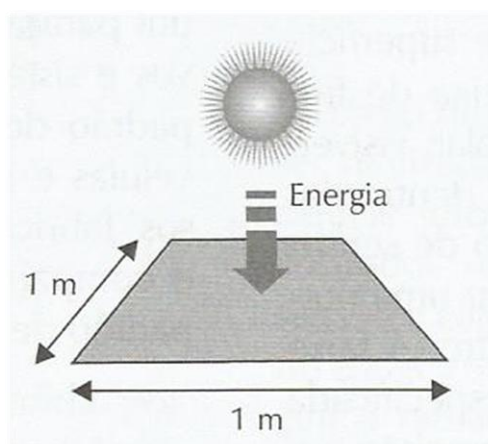


Figura 5. Insolação W/m^2 .
Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

2.6 HISTÓRICO DOS FORNOS SOLARES NO LMHES

A cocção solar de alimentos representa uma das principais linhas de pesquisa do LMHES da UFRN, tendo sido objeto de inúmeros trabalhos científicos publicados em vários congressos nacionais e internacionais e de oito dissertações de Mestrado. A seguir, apresenta-se a história dessa linha de pesquisa no LMHES.

Nesse contexto, Souza (1986) construiu um forno solar em madeira com quatro segmentos de inox unidos constituindo a superfície refletora que concentrava a radiação solar e a enviava para o recinto de assamento. Os ensaios demonstraram a baixa eficiência do forno em função de um nível de absortividade do inox muito maior que o espelho, apesar de sua boa refletividade. A Figura 6 mostra o primeiro forno solar fabricado na UFRN.



Figura 6. Primeiro forno solar fabricado na UFRN.

Fonte: Souza

Segundo Souza (1986) construiu um fogão solar à concentração com parábola refletora formada por segmentos de chapas de inox. Apesar da significativa temperatura no foco os ensaios demonstraram uma significativa perda da energia concentrada no foco em função de um nível de absortividade do inox muito maior que o espelho, apesar de sua boa refletividade. A Figura 7 mostra o primeiro fogão solar fabricado na UFRN.



Figura 7. Primeiro fogão solar fabricado na UFRN.

Fonte: Souza

Nessa perspectiva, Souza (1994) construiu e estudou dois fornos solares de madeira com superfícies refletoras de espelhos planos. O primeiro forno era quadrado tendo em três de seus lados dois segmentos de espelhos e o outro era também quadrado com três segmentos de espelho, com variação de ângulo manual. Os ensaios mostraram a viabilidade dos fornos construídos pela obtenção de níveis de temperatura nas superfícies absorvedoras superiores a 100°C, alcançando máximas de 160°C para o forno 1 e 133°C no forno 2. A Figura 8 mostra os dois fornos solares fabricados.

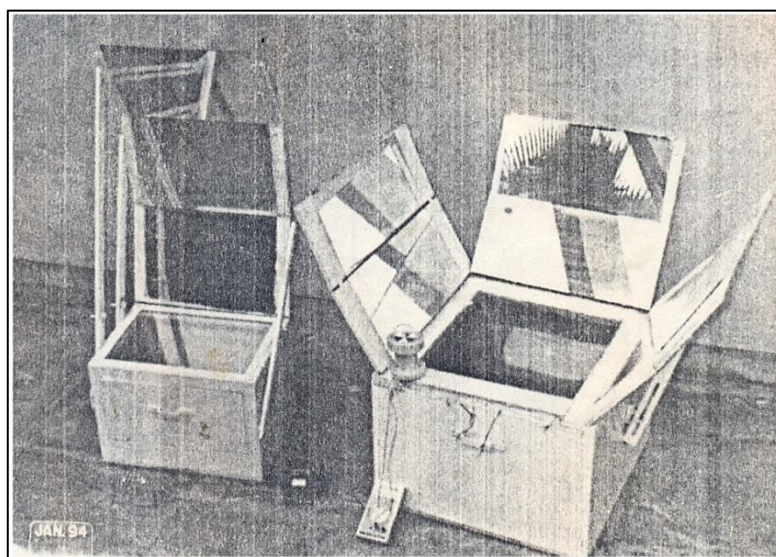


Figura 8. Fornos solares fabricados na UFRN.

Fonte: Souza

Desse modo, Queiroz (2005) apresentou um fogão solar à concentração composto por quatro segmentos espelhados, constituindo uma parábola, obtida através da utilização de fibra de vidro, aplicada sobre um molde cerâmico, destinado ao cozimento de alimentos para fins residenciais, urbanos e rurais. O espelhamento da parábola foi obtido através da utilização de múltiplos segmentos planos de espelho de 2 mm de espessura. Obtiveram-se níveis de temperatura até iguais as de um fogão convencional a gás, em torno de 800°C, com tempos de cozimento muito próximos para horas de pico de radiação em dias de baixíssima nebulosidade. Comprovou-se que é possível o cozimento de alimentos para duas refeições para uma família de até quatro pessoas. A Figura 9 mostra o fogão solar à concentração fabricado na UFRN.



Figura 9. Fogão solar à concentração estudado por Queiroz
Fonte: Queiroz.

No desenvolvimento proposto por Lion (2007) construiu um fogão solar à concentração composto por dois segmentos espelhados, constituindo duas semi-parábolas, obtidas através da utilização de fibra de vidro, aplicada sobre um molde cerâmico, destinado ao cozimento de alimentos para fins residenciais, urbanos e rurais. Comprovou-se que é possível o cozimento simultâneo de alimentos de duas refeições distintas para uma família de quatro pessoas, com tempos de cozimento competitivos com outros fogões solares mostrados pela literatura solar para cozimento de alimentos. A temperatura máxima do absorvedor ficou em torno de 550°C e a média em torno de 450°C . A Figura 10 mostra o fogão solar bifocal estudado.



Figura 10. Fogão solar à concentração estudado por Lion.

Fonte: Lion

Na ideia de Melo (2008) apresentou o forno solar fabricado a partir da sucata de um fogão convencional a gás. O forno do fogão convencional é o recinto de cozimento onde o absorvedor (panela) do forno solar fica localizado, sendo recoberto por uma lâmina de vidro para a geração do efeito estufa e tendo seu fundo e laterais isoladas por um compósito à base de gesso e isopor. Segmentos de espelhos planos foram colocados nas laterais do forno para a concentração da radiação e uma parábola refletora foi introduzida no recinto de cozimento para o aproveitamento da radiação refletida incidente no interior do forno. Foram demonstradas as viabilidades térmicas, econômica e de materiais do fogão em estudo. A temperatura interna média do absorvedor ficou em torno de 150°C e a temperatura interna do forno em torno de 120°C . A Figura 11 mostra o forno solar fabricado a partir de uma sucata de fogão convencional a gás.



Figura 11. Forno solar fabricado a partir de uma sucata de fogão convencional a gás e estudado por Melo.
Fonte: Melo

Neste aspecto, Souza *et al.* (2008) desenvolveu um modelo de fogão solar a concentração utilizado para aquecer um ferro elétrico para a operação de passar roupa, economizando-se energia elétrica. Uma grande importância desse projeto é conscientizar as comunidades mais carentes no que diz respeito ao desperdício de energia e aumentar sua fonte de renda. O ferro solar proposto apresentou-se viável para a finalidade de substituir o ferro elétrico na tarefa de passar roupas. Os resultados obtidos com o ferro solar foram similares aos obtidos com o ferro convencional elétrico, atestando sua viabilidade. A Figura 12 mostra o fogão solar à concentração utilizado para promover o aquecimento do ferro de engomar.



Figura 12. Fogão solar à concentração utilizado para o aquecimento do ferro de engomar.

Fonte: Souza

Nesta abordagem, Souza *et al.* (2008) confeccionou um forno solar de baixo custo fabricado com blocos confeccionados em material compósito, a partir de EPS em pó, gesso e cimento. O forno proposto tinha como superfície interna no fundo uma parábola moldada por processo anual e revestida com espelhos de pequenas dimensões para um aumento da sua temperatura interna. Os blocos que constituem o fogão apresentavam baixa condutividade térmica, eram leves e apresentavam boa resistência mecânica. Acima da caixa do forno localizava-se uma parábola refletora para concentrar os raios incidentes, enviando-os ao interior do forno. O forno solar proposto mostrou-se viável para produzir o assamento de pizzas, bolos e lasanhas, podendo trazer economia e minimizar problemas de ataque à ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha. O custo de fabricação do forno proposto ficou em torno de 100 reais, estando abaixo da faixa média para tais protótipos entre 150 e 300 reais, para fins que não visam lucro. A Figura 13 mostra o forno solar tipo caixa fabricado em material compósito.



Figura 13. Forno solar tipo caixa fabricado em material compósito.

Fonte: Souza

Desse modo, Souza *et al.* (2008) fabricou um fogão solar à concentração construído a partir de uma sucata de antena parabólica. O fogão solar apresenta custo de fabricação extremamente baixo uma vez que pode ser construído com materiais de sucata, com exceção dos espelhos que recobrem a superfície refletora de aproximadamente $0,3\text{m}^2$. A temperatura máxima obtida com o fogão solar correspondeu a 560°C e temperatura média para o período estudado, em torno de 413°C , estando dentro do nível propício para a cocção. O teste foi realizado para excelentes condições solarimétricas. Percebeu-se que as temperaturas alcançadas são extremamente significativas, mas devido a pequena área da parábola captadora e refletora da radiação solar direta, a potência que chega a panela inviabiliza a cocção de quantidades adequadas de alimentos para uma família, necessitando-se, pois, de um aumento da mesma. A Figura 14 mostra o fogão solar utilizando uma sucata de antena como superfície parabólica receptora e concentradora da radiação solar.



Figura 14. Fogão solar utilizando uma sucata de antena como superfície parabólica.

Fonte: Souza

De acordo com Gomes (2009) produziu um forno/fogão solar alternativo de baixo custo para ser utilizado nas operações de assar e cozinhar, construído a partir de uma sucata de pneu. Foram estudadas três configurações, com dois tipos de parábolas refletoras. Uma confeccionada a partir de uma tampa de proteção de uma sucata de ventilador e outra a partir de uma urupema, peneira usada para comidas de milho. A estrutura de sustentação do forno/fogão solar, com os movimentos necessários ao acompanhamento do movimento aparente do sol foi confeccionada utilizando uma sucata de cadeira giratória. Obteve-se uma temperatura máxima no absorvedor em torno de 160° e interna em torno de 120°C . Demonstrou-se a eficiência do forno/fogão para as operações de cozimento e assamento de alimentos, com maior viabilidade para o assamento. A Figura 15 mostra o forno solar construído a partir de uma sucata de pneu.



Figura 15. Forno solar utilizando uma sucata de pneu na operação de assamento.

Fonte: Gomes

No pensamento de Souza *et al.* (2009) apresentou um modelo de forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir da utilização de um material compósito, que apresenta em sua composição o EPS triturado, um material reciclado. O fogão forno proposto é um protótipo solar de média concentração destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00 às 16:00 h. Destina-se, principalmente, a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas entre outros. A principal inovação do trabalho foi a utilização de um material compósito a base de gesso, EPS triturado, cimento, areia e água para a construção da caixa do forno/fogão solar. Foram assados vários alimentos, dentre eles, um bolo que se encontra mostrado na Figura 16, demonstrando-se a eficiência do forno proposto e sua consequente viabilidade de utilização.



Figura 16. Forno solar fabricado em material compósito e estudado por Souza.

Fonte: Souza

No direcionamento de Souza *et al.* (2009) idealizou um modelo de fogão solar à concentração destinado a cozer alimentos, construído a partir da utilização de uma urupema (peneira de origem indígena), adquirida na feira livre ao custo de R\$12,00. A principal inovação do trabalho foi a utilização da urupema como parábola refletora do fogão, o que facilita os processos de fabricação e montagem do fogão à concentração. Esses processos podem ser repassados tecnologicamente com mais facilidade para as comunidades de baixa renda, que poderiam utilizá-lo e/ou fabricá-lo para geração de emprego e renda. As principais características desse fogão foram, portanto, seu baixo custo e seus fáceis processos de construção e montagem. Devido a sua pequena área de captação da radiação solar, $0,23\text{m}^2$ A cocção de alimentos não se apresentou viável, apesar de ter alcançado temperatura máxima de foco de $337,4^\circ\text{C}$. A Figura 17 mostra o fogão solar fabricado a partir de uma urupema.



Figura 17. Fogão solar fabricado a partir de uma urupema.

Fonte: Souza

Nesse cenário, Filho (2010) confeccionou um fogão solar à concentração composto por duas parábolas refletoras de forma elíptica feitas a partir do reaproveitamento de sucatas de antena de TV de 0,28 m² de cobertas por múltiplos espelhos de 2 mm de espessura montadas em uma estrutura metálica feita com o reaproveitamento de sucata, possuindo uma mobilidade para a correção do movimento aparente do sol. Os ensaios mostram que o fogão chegou à temperatura máxima de 740°C, realizando a ebulição de água em um tempo médio de 28 minutos, cozinhando diversos alimentos como batata, arroz e macarrão em um tempo médio de 45 minutos e ainda funcionando como forno solar, realizando o assamento de pizza e carnes. Comprovou-se a viabilidade da utilização do fogão para cozinhar ou assar em duas refeições diárias para uma família, apresentando ainda condições de melhorar sua performance com adição de novos materiais, equipamentos e técnicas. A Figura 18 mostra o fogão solar fabricado a partir de duas sucatas de antenas.



Figura 18. Fogão solar fabricado a partir de duas sucatas de antenas.
Fonte: Filho

Nessa ótica, Neto (2010) demonstrou a viabilidade de um fogão solar a concentração com parábola refletora construída em material compósito. Foi utilizado um molde de concreto com perfil parabólico obtido através da modelagem. O fogão solar a concentração tem como principal característica seu custo baixo, sendo produzidos a partir de uma composição de materiais reutilizáveis, como cimento, gesso e EPS triturado e pneus. Apresentava área de captação de $1,0 \text{ m}^2$ e sua parábola foi coberto com segmentos de espelhos de 25 cm^2 . Obteveram-se temperatura de foco superior a 650°C . Demonstrou-se a viabilidade de cocção desse fogão solar para vários tipos de alimentos como feijão, batata, arroz, inhame e macarrão e podendo ser usado em duas refeições para uma família de quatro pessoas. A Figura 19 mostra o fogão solar com parábola captadora e refletora fabricado em material compósito.



Figura 19. Fogão solar com parábola captadora e refletora fabricado em material compósito.

Fonte: Neto

Segundo Souza *et al.* (2011) estudou um modelo de um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de uma sucata de tambor de polietileno utilizada para depósito de lixo ou água. Por apresentar perfil cilindro-parabólico o foco da superfície refletora é linear, permitindo a utilização de até três painéis no seu interior. Uma inovação do projeto foi a construção de um novo perfil parabólico de sistema refletor, a partir de um segmento do próprio tambor, para direcionar os raios solares para o interior do forno. O forno proposto mostrou-se viável para a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas, lasanhas, entre outros no período de 9:00 às 14:00 horas. A Figura 20 mostra o forno solar fabricado a partir de uma sucata de tambor de polietileno.



Figura 20. Forno solar fabricado a partir de uma sucata de tambor de polietileno.

Fonte:Souza

Para Souza et al. (2011) apresentou um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de um a caixa térmica de EPS. A principal inovação do trabalho foi a utilização da caixa térmica de isopor, largamente disponível no mercado, de baixo custo e com uma estrutura já definida e construída, evitando-se a confecção de molde para a obtenção da caixa. Ressalte-se que a caixa de isopor já é um isolante térmico de grande eficiência, pela condutividade do EPS corresponder a $0,03 \text{ W/m. C}$. Os tempos de assamento para pizza e lasanha mostraram-se competitivos com outros modelos já ensaiados e mostrados na literatura solar para cocção de alimentos. A Figura 21 mostra o forno solar fabricado a partir de uma caixa de EPS.



Figura 21. Forno solar fabricado a partir de uma caixa de EPS.

Fonte: Souza

Assim, Souza *et al.* (2012) obteve um forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer destinado ao assamento de alimentos, tais como pizzas, bolos, pães, lasanhas e outros. Sua principal característica era o baixo custo. Tal forno proporcionava o assamento de vários alimentos ao mesmo tempo. Foram demonstradas as viabilidades térmica e econômica de tal forno, pela obtenção de tempos de cocção competitivos com outros fornos já testados no mundo em função de seu baixo volume, das altas temperaturas do absorvedor e interna e de sua grande área de reflexão da radiação solar e consequente concentração. Tal forno propiciou o assamento simultâneo de cinco bolos de 800g. A Figura 22 mostra o forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer.



Figura 22. Forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer.
Fonte: Souza

Nesse sentido, Souza *et al.* (2012) aproveitou resíduos para a construção de um forno solar, destinado a assar e cozer alimentos, no período de 9:00 às 14:00 horas, construído a partir da utilização de três pneus usados. A principal inovação do trabalho foi a utilização de pneus usados que passam por um processo de viramento para propiciar um aumento do volume do forno, facilitar a operação de fixação de espelhos no seu interior e proporcionar um melhor isolamento térmico, no caso uma camada de ar confinado. O pneu também constitui-se em um material isolante o que melhora a eficiência térmica do forno solar proposto, uma vez

que minimiza as perdas térmicas. Outra inovação será o projeto e a construção de um novo perfil de sistema refletor para direcionar os raios solares para o interior do forno/fogão. Tal sistema apresenta um perfil que se aproxima de uma parábola, aumentando a área de captação da radiação e de reflexão dos raios para o interior do forno/fogão. Foram testados os assamentos para pizza e lasanha, obtendo-se tempos competitivos com outros modelos de fornos solares testados no mundo. A Figura 23 mostra o forno solar fabricado a partir de três pneus usados.



Figura 23. Forno solar fabricado a partir de três pneus usados.

Fonte: Souza

Para Silva e Barbosa (2012) desenvolveram sobre um forno solar produzido a partir de um banco em desuso e de sucatas de vidro retiradas de janelas. É importante ressaltar que os materiais utilizados para confecção do forno solar são de baixo custo, viabilizando o seu uso pelas camadas mais pobres da população. O fogão proposto é um protótipo solar de média concentração destinado ao uso doméstico em zonas rurais e/ou urbanas, no período de 10:00 às 14:00 horas, principalmente, para a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas entre outros (alimentos do tipo assado). A principal inovação do trabalho foi a fabricação do forno utilizando casca de arroz como elemento isolante, $0,122 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, pois é uma matéria-prima barata e de fácil acesso, entre os elementos estruturais da parede do forno serão de vidro de janela. Foram assados pizzas, bolos e empanados de frango, em tempos um pouco acima dos apontados pela literatura para outros fornos solares já estudados. O bolo foi assado em 75 minutos, o que demonstra a viabilidade de utilização do forno proposto, principalmente em função de seu baixíssimo custo. A Figura 24 mostra o forno solar fabricado a partir de uma sucata de banco e sucatas de vidros retiradas de janelas.



Figura 24. Forno solar fabricado a partir de sucatas de banco e vidro.

Fonte: Silva e Barbosa

Segundo Ferreira (2012) apresentou sobre um forno solar de baixo custo fabricado com blocos de material compósito, a partir de EPS em pó, gesso e cimento. O forno/fogão proposto trabalha, com efeito, estufa e concentração. Acima da caixa do forno estava localizada uma superfície refletora para concentrar os raios incidentes, enviando-os ao interior do forno. Os blocos que constituem o fogão apresentam baixa condutividade térmica, eram leves e apresentavam boa resistência mecânica. Foram realizados testes para assamento de pizzas, bolos, empanados e kibes, com boa eficiência. O bolo foi assado em apenas cinquenta minutos. O forno/fogão proposto pode ajudar a população mais carente de nossa região, podendo constituir-se numa opção de geração de emprego e renda. A Figura 25 mostra o forno solar fabricado a partir de placas de material compósito de baixa condutividade térmica.



Figura 25. Forno solar fabricado a partir de placas de material compósito de baixa condutividade térmica.

Fonte: Ferreira

De acordo com Souza (2012) realizou um estudo sobre um modelo de um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir da utilização de uma caixa térmica de EPS. A inovação do trabalho será a utilização da caixa térmica de isopor, largamente disponível no mercado, de baixo custo e com uma estrutura já definida e construída, evitando-se a confecção de molde para a obtenção da caixa. A principal característica desse forno é o pequeno volume do recinto de assamento, propiciando a obtenção de elevadas temperaturas do absorvedor e interna, diminuindo o tempo de cocção dos alimentos. Devido a seu elevado comprimento permite ao assamento de dois alimentos ao mesmo tempo. O forno proposto mostrou-se eficiente para o assamento de todos os alimentos testado, podendo assar dois alimentos ao mesmo tempo como mostrado na Figura 26.



Figura 26. Forno solar fabricado em caixa térmica para assamento de mais de dois alimentos simultâneos.

Fonte: Souza

Em decorrência disso, Frankental (2012) realizou estudos sobre um forno solar destinado ao assamento de alimentos, construído a partir placas de material reciclável utilizadas para construção de ambientes para trabalhadores da construção civil. Utiliza-se o EPS para o isolamento térmico do forno. O forno apresenta uma geometria diferente das utilizadas para fornos solares, sendo mais compacta e com um volume de ar reduzido. No teste sem carga as temperaturas máximas do absorvedor e do ar foram 131°C e 100°C. Demonstrou-se a eficiência do forno para o assamento de empanados de frango e pizzas. A Figura 26 mostra o forno solar fabricado a partir de placas de compósito polimérico de baixa condutividade térmica que utiliza embalagens de pastas de dentes e outros materiais plásticos.



Figura 27. Forno solar fabricado a partir de placas de compósito polimérico de baixa condutividade térmica.

Fonte: Frankental

Na visão de Pitta (2012) esse modelo de forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de sucatas de vidros utilizados em janelas. Utilizou-se raspa de pneu como isolante entre os elementos estruturais das paredes do forno. As principais características do forno/fogão solar proposto foram seu baixo custo e fáceis processos de fabricação e montagem. A borracha do pneu apresenta um bom isolamento térmico, propriedade importante para a minimização das perdas térmicas e se apresenta como um material sustentável. As temperaturas máximas do teste sem carga foram 141 na superfície absorvedora e 94 no ar interno do forno. Um dos testes de assamento foi o medalhão de merlúzia, 400 g, obtido em 45 minutos. A Figura 28 mostra o forno solar com recinto solar fabricado totalmente em vidro.



Figura 28. Forno solar com recinto solar fabricado totalmente em vidro.

Fonte: Pitta

Nesta experiência, Souza *et al.* (2012) idealizou uma melhor destinação e utilização de resíduos de cabelo, gerados por salões de beleza, evitando seu descarte no ambiente. Ressalte-se que a decomposição do cabelo apresenta um tempo ilimitado, o que acentua os problemas ecológicos decorrentes de seu descarte em lixões. Foi fabricado um compósito a partir da trituração dos resíduos de cabelo. A matriz do compósito foi a resina ortoftálica. Foi construída uma parábola com 0,65m² de área, utilizada para a fabricação de um fogão solar à concentração. A maior temperatura obtida no foco do fogão parabólico à concentração foi de 401°C. O tempo de ebulição de 1,5 litros de água aconteceu em 345 minutos e o cozimento de 250g de macarrão em 18 minutos após a água fervida. Demonstrou-se, portanto, a viabilidade do fogão proposto para o fim de cocção de alimentos, apesar da pequena área da parábola. A Figura 29 mostra o fogão solar fabricado de compósito a partir de cabelo humano.

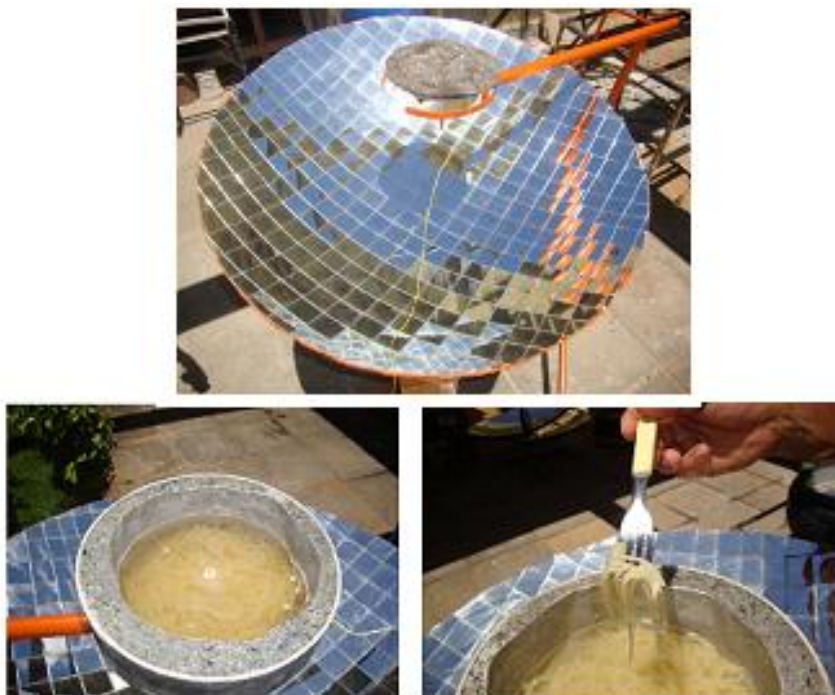


Figura 29. Fogão solar fabricado de compósito a partir de cabelo humano.

Fonte: Souza

Nessa perspectiva, Rodrigo Gurgel *et al.* (2013) obteve em seu trabalho sobre um forno solar, conseguiu assar pães, bolos, pizzas, fabricado a partir de uma caixa térmica de EPS. A principal inovação do trabalho foi a utilização de EPS, amplamente disponível, de baixa condutividade térmica, baixo custo e com uma estrutura definida, evitando-se a produção de moldes para obter-se a caixa. Como o EPS já é um isolante térmico muito eficiente não há a necessidade da utilização de material isolamento nas laterais e no fundo do forno solar, para minimizar as perdas térmicas. O interior do forno foi revestido por espelhos que formam um perfil que apresenta uma maior concentração da radiação solar. Acima do fundo do forno está um sistema de refletor de espelho plano, que se move de acordo com o movimento do sol, dirigindo os raios solares para o recinto de assamento e o alimento é colocado dentro do cozimento. Esse modelo de forno foi o que apresentou a maior eficiência entre todos os fornos já testados, com tempos de assamento menores que muitos apresentados pela literatura solar para a cocção de alimentos. Um bolo de 800g foi assado em apenas 45 minutos. A Figura 29 mostra o forno solar fabricado em caixa térmica com perfil em degrau para concentração dos raios solares.

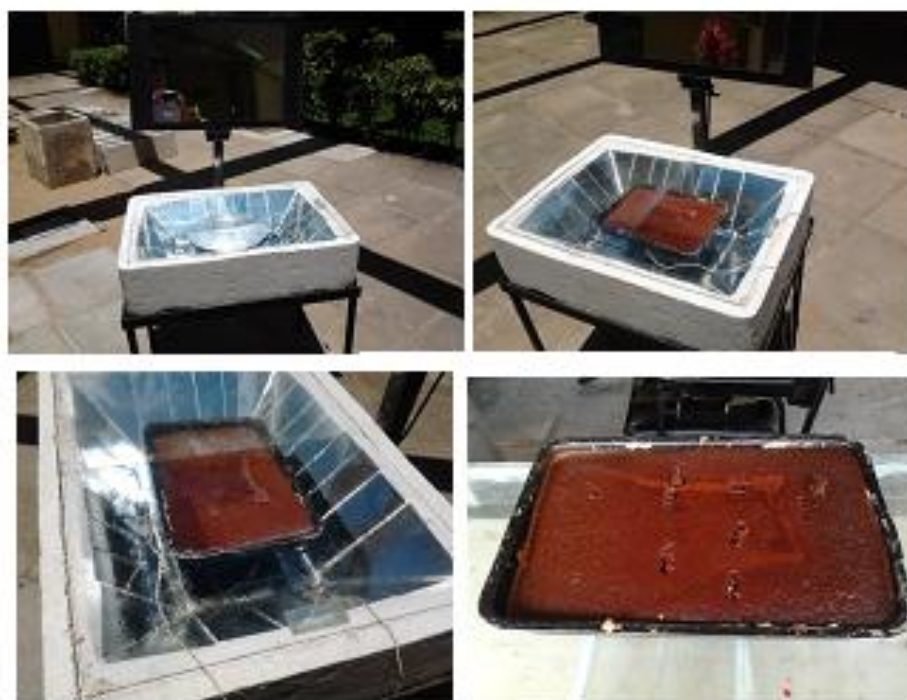


Figura 30. Forno solar fabricado em caixa térmica com perfil em degrau para concentração dos raios solares. Fonte: Gurgel

3 MATERIAIS E METODOS

No entendimento de Figueiredo (2008) o presente trabalho trata-se de uma estudo experimental de caráter explicativo, fundamentada em testes para comprovação científica da eficiência e custo benefício.

As variáveis internas: Temperatura Interna, Temperatura do Absorvedor, já as variáveis externas: Umidade, Temperatura Ambiente, Radiação Global, Sensação Térmica, demonstrando as propriedades do experimento.

Aliás, a ideia inicial foi de construir um forno capaz de realizar o assamento de alimentos em condições de tempo e temperatura na faixa dos outros fornos solares demonstrados na literatura, mas que pudesse ter diferenciais em termos de seu custo, operacionalização do equipamento, além de fácil montagem e desmontagem.

O protótipo I, foi capaz de realizar o assamento, apenas a temperatura e o tempo foram insuficientes, além disso, o forno apresentou dois grandes problemas que foram: a deterioração da camada de isopor, a qual prendia os espelhos no seu interior. Além, da vedação deficitária, em que percebeu-se a penetração de água no interior do forno. Assim, a busca pela mudança do princípio de aquecimento, no primeiro forno utilizando a reflexão da radiação incidente, já no segundo, menor volume associado ao aumento do efeito estufa que no primeiro era quase que desprezível, a propósito, de solucionar os problemas enfrentados anteriormente.

3.1 CONSTRUÇÃO DOS FORNOS SOLARES

3.1.1 Protótipo I

Os tambores de polietileno são geralmente utilizados para o armazenamento e transporte de diversos combustíveis e materiais, como é o caso de óleo lubrificante, produtos químicos e petroquímicos, além de água e lixo. É fabricado com Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Alto Peso Molecular, desenvolvido para fornecer propriedades como resistência a temperatura e a mecânica, além de outras propriedades, atendendo às devidas especificações necessárias para essa atividade de cocção de alimentos através da energia solar.

Como os tambores são inicialmente utilizados para fins químicos, os mesmos podem contaminar os alimentos a serem assados, nesse contexto, foi realizado a higienização do

tambor, bem como o isolamento ¹ nas placas de espelhos no protótipo I ou da chapa metálica no protótipo II.

Nesta experiência, utilizou-se um produto mais leve que o tambor de aço, reduz o custo de manuseio e transporte. São produzidos na capacidade de 200 e 230 litros, possuindo dois bocais de 2" ou 2 1/2" com sistema de fechamento em plástico, sendo esse material classificado e qualificado como um material reciclado adquirido diretamente do meio ambiente onde foi colocado na forma de desuso. A Figura 30 mostra um tambor de 200 litros de PEAD disponível comercialmente.



Figura 31. Tambor de Polietileno 200 litros.
Fonte: Empresa Solostock embalagens.

Para fins de construção do forno solar, foi necessário utilizarmos apenas metade do tambor como região de cocção de alimentos e concentração de calor. Outra parte de cerca de um quarto do tambor foi utilizada como zona de reflexão externa da radiação solar direta. As dimensões externas e internas do forno solar fabricado estão apresentadas na Tabela 2. A área da superfície interna do forno correspondeu a 0,92m².

Tabela 2. Dimensões do forno solar fabricado – Protótipo I **Fonte:** autor

Dimensões Forno Solar				
	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m ³)
Externa	0,87	0,57	0,30	0,105
Internas	0,73	0,49	0,24	0,066

¹ Isolamento provocado pelo isopor que fixa as placas de espelhos no interior do forno solar

A Figura 32 apresenta algumas etapas do processo de fabricação do forno solar proposto – Protótipo I.



Figura 32. Etapas do processo de fabricação – Protótipo I.
Fonte: Autor.

Para a fabricação da superfície refletora do forno, utilizou-se um perfil parabólico, parte do tambor de polietileno, recoberto de espelhos com área de captação de $0,46\text{m}^2$, com uma estrutura externa ao forno para refletir os raios incidentes para o seu interior.

A estrutura desses segmentos de espelhos tem movimento para permitir a regulação dos mesmos em função do movimento aparente do sol, o horário de melhor eficiência para utilização do forno fica das 09:00 as 14:00.

Toda superfície interna do forno foi recoberta por lâminas de espelho coladas em folhas de EPS, que tinham também a função de isolar termicamente o forno.

Foram levantados dados da temperatura da forma absorvedora e do ar no interior do forno, colocando os termopares na parte central nesses testes em vazio e com carga . Para as medidas das temperaturas foram utilizados termopares tipo K acoplados a um termômetro digital com range de -50 a 200°C e incerteza de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e os dados meteorológicos foram obtidos de uma central Davis localizada no LMHES/UFRN.

Foram determinados os tempos de assamento para alguns alimentos e seus resultados foram comparados quanto aos obtidos com o fogão convencional a gás e com outros fornos disponíveis na literatura solar para assamento de alimentos. A Figura 33 mostra o forno solar (Protótipo I) em teste.



Figura 33. Protótipo I em ensaio no LMHES/UFRN.

Fonte: Autor.

3.1.2 Protótipo II

O tambor de polietileno foi devidamente substituído por outro com capacidade de 120 litros, com dimensões: comprimento = 0,86m, largura = 0,47m e profundidade = 0,50m, lembrando que essas medidas tem como referência o tambor na horizontal e não na vertical como se utiliza normalmente.

O protótipo II foi um projeto idealizado para resolver as problemáticas encontradas no protótipo I, com isso o objetivo não é comparar ambos os trabalhos, mas sim mostrar que um foi devidamente construído em função de uma melhoria.

O protótipo II foi concebido para um predomínio do efeito estufa no interior do forno. A superfície interna do forno constituiu-se de uma chapa metálica pintada de preto fosco para uma maior absorção da radiação solar. Os processos de fabricação e montagem do forno encontram-se descritos abaixo:

Corte ao meio do tambor de polietileno utilizando arco de serra;

Acoplamento entre as duas metades;

Confecção de uma estrutura metálica em alumínio para o forno;

Acoplamento das metades do tambor na estrutura utilizando rebites;

Colocação da chapa metálica no interior da metade interna do tambor;

Fabricação da estrutura externa de reflexão

A Figura 34 apresenta algumas etapas dos processos de fabricação e montagem do forno solar proposto na configuração II.



Figura 34. Etapas dos processos de fabricação e montagem do Protótipo II.

Fonte: Autor.

Acoplamento da estrutura externa de reflexão na estrutura metálica;

Corte do vidro de cobertura do forno e espelho da superfície refletora externa utilizando ferramenta profissional de diamante;

Acoplamento do espelho à estrutura utilizando cola de contato;

Pintura da superfície refletora externa e da chapa absorvedora utilizando tinta preto fosco.



Figura 35. Etapas dos processos de fabricação e do Protótipo II finalizado.

Fonte: Autor.

A **Tabela 3** apresenta as dimensões externas e internas do forno solar – protótipo II. **Fonte:** Autor

Dimensões Forno Solar – Protótipo I					
	Comprimento	Largura	Altura	Área	Volume
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)

Externas (m)	0,86	0,47	0,18	0,4042	0,07
Internas (m)	0,80	0,46	0,11	0,368	0,04
Placa de Vidro (m)	0,78	0,43	-----	0,3354	-----
Placa de Espelho (m)	0,66	0,36	-----	0,237	-----

Os dados adquiridos dos protótipos que são: a temperatura da forma absorvedora e do ar no interior do forno, nos testes em vazio e com carga. Foram medidas segundo parâmetros meteorológicos. Verificou-se, também, as temperaturas da superfície externa do forno em todos os lados e no fundo para quantificar e avaliar as perdas térmicas.

Para as medidas das temperaturas utilizamos termopares tipo K acoplados a um termômetro digital e os dados meteorológicos foram obtidos de uma central Davis localizada no LMHES/UFRN.

Foram determinados os tempos de assamento para alguns alimentos e seus resultados foram comparados quanto aos obtidos com o fogão convencional a gás e com outros fornos disponíveis na literatura solar para assamento de alimentos. A Figura mostra o forno solar (Protótipo I) em teste.



Figura 36. Protótipo I em testes.

Fonte: Autor

3.2 BALANÇO TÉRMICO DO FORNO SOLAR - PROTÓTIPO II

O balanço térmico como o próprio nome já o afirma como sendo uma avaliação quantitativa das energias que entram e saem do forno, o balanço energético foi quantificado

para o Protótipo II e não para o protótipo I pelo seu problema de vedação e deterioração, tornando assim o protótipo II mais adequado aos objetivos do projeto.

As radiações solares incidentes sobre a tampa superior e sobre os espelhos externos entram no forno solar de duas formas: como radiação solar global incidente sobre a tampa de vidro e radiação solar direta refletida pelos espelhos externos. Tanto a radiação solar global quanto a radiação solar direta refletida pelos espelhos externos incidem sobre a parte superior da panela e a área útil da parábola. As equações do balanço energético são apresentadas a seguir.

a. A energia que entra no forno solar (E_{ef})

A energia que entra em seu interior provém de duas fontes: da radiação solar global incidente na cobertura e da radiação solar direta refletida nos espelhos externos situados no topo do forno solar. A equação 1 mostra a energia total que entra na sua área de assamento.

$$E_{ef} = E_g + E_{re} \quad (1)$$

E_{ef} = Energia que entra no forno solar (W); E_g = Energia proveniente da radiação solar global que incide diretamente no forno solar (W); E_{re} = Energia da reflexão dos espelhos da superfície refletora externa que entra no forno solar (W).

Para o cálculo das energias de entrada no forno solar utilizam-se as equações mostradas a seguir.

$$E_g = I_g \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (2)$$

$$E_{re} = I_d \cdot A_{ue} \cdot \rho_e \cdot \tau_v \quad (3)$$

I_g = Radiação instantânea global que entra no forno solar = **850 W/m²**; I_d = Radiação instantânea direta que entra no forno solar = **680 W/m²**; ρ_e = Refletividade do espelho = **0,95**; τ_v = Transmissividade do vidro = **0,85**; A_v = Área do vidro = 0,3354 m²; A_{ue} = Área útil dos espelhos = 0,2376 m² (buscar o porque de cada índice exposto)

b. Energia perdida pelas laterais, fundo e pelo vidro de cobertura (epf)

Medindo-se as temperaturas médias das superfícies externas do forno calculou-se a perda térmica convectiva entre tais superfícies e o ar ambiente. Desprezou-se a radiação emitida para o ar ambiente externo em função do baixo gradiente, temperatura ambiente girando em torno dos 30°C a 35°C e as externas entre 40°C a 50°C, de temperatura entre as superfícies de troca. Para o cálculo da troca convectiva, utilizou-se a equação.

$$E_{pf} = Q_{convec} = h_c \cdot A_{se} \cdot (T_s - T_{amb}) \quad (13)$$

(buscar informações quando ao h_c porque utilizado como 10)

E_{pf} = Energia perdida pelo forno solar (W); E_{ef} = Energia que entra no forno solar (W); E_{abs} = Energia absorvida pela panela (W).

c. O rendimento interno do forno solar (η_{if})

O rendimento interno do forno solar será calculado pela razão entre a energia absorvida e disponível no interior do forno e a energia total que entra no forno solar.

$$\eta_{if} = (E_{abs} / E_{ef}) \quad (14)$$

Sendo:

η_{if} = Rendimento do forno solar; E_{ef} = Energia que entra no forno solar (W); E_{abs} = Energia absorvida pelo forno (W).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o uso do balanço de energia do forno solar é necessário buscar na literatura inicialmente as equações e fórmulas para a devida análise, contudo isso foi detalhado no capítulo 3 que são materiais e métodos, aqui no capítulo 4 serão demonstrados os resultados provenientes dos dados obtidos do forno em estudo. Serão também avaliados os resultados obtidos com o forno solar na operação de assar alguns alimentos, bem como as energias envolvidas nesse processo.

Uma informação a ser citada é que esse balanço só será empregado para o protótipo II pois o primeiro protótipo ocorreu a problemática da degradação e com isso foi colocado para testes em poucas ocasiões.

4.1 BALANÇO ENERGÉTICO DO FORNO

a. A energia que entra no forno (eef)

$$E_g = I_g \times \tau_v \times A_v = 850 \times 0,85 \times 0,3354 = \mathbf{242,0375 \text{ W}}$$

$$E_{re} = I_d \times A_{ue} \times \rho_e \times \tau_v = 680 \times (0,2376 \times 0,95 \times 0,85) = \mathbf{130,4662 \text{ W}}$$

$$E_{ef} = E_g + E_{re} = 242,0375 + 130,4662 = \mathbf{372,5037 \text{ W}}$$

b. Energia perdida pelas laterais, fundo e pelo vidro de cobertura (epf)

$$E_{pf} = Q_{convec} = h_c \cdot A_{se} \cdot (T_s - T_{amb})$$

$$E_{pf} = 10 \cdot 0,883 \cdot (49,93 - 28,7) = 187,4609 \text{ W}$$

$$\text{Onde: } h = 10 \text{ W/mK, } A = 0,883\text{m}^2, T_s = 49,94^\circ\text{C, } T_{amb} = 28,7^\circ\text{C}$$

A Tabela 4 apresenta as contribuições energéticas envolvidas no balanço de energia do forno solar estudado, e seu rendimento térmico.

Tabela 4. Energias envolvidas no balanço energético do forno solar estudado.**Fonte:** Autor.

ENERGIA	WATTS
1.Energia que entra no forno	942
2. Energia absorvida pelo forno	536,8
3. Energia perdida pelo forno	405,2
4, Rendimento interno do forno	57%

A eficiência do forno solar estudado foi de 57% uma vez que a energia perdida correspondeu a 43% da energia que entrou no recinto de assamento. Essa eficiência demonstra a viabilidade térmica do forno solar estudado, que se traduziu pela boa eficiência do isolamento térmico utilizado.

4.2 RESULTADOS PROTÓTIPO I

O Forno Solar Protótipo I foi ensaiado preliminarmente para se avaliar sua capacidade de assamento. Em vazio, a máxima temperatura do absorvedor correspondeu a 101°C e a do ar no interior do forno de 92°C.

O primeiro alimento a ser testado foi uma pizza de 600g. Quando a pizza foi colocada no forno a temperatura ambiente correspondia a 32,5°C, a sensação térmica, em torno dos 35,5°C e a umidade com 61%. A temperatura interna do forno solar correspondia a 92°C e a do absorvedor 101°C. A Figura mostra o forno solar em teste. A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros medidos no teste de assamento da pizza. A Figura 34 mostra o forno em teste.

Tabela 5. Temperaturas no interior do forno e radiação solar global durante o ensaio de assamento de uma pizza – Protótipo I. **Fonte:** Autor.

Tempo (hora)	T _{int.forno} (°C)	T _{absorvedor} (°C)	Radiação solar direta (W/m ²)
11:05	70	85	753,6
11:10	60	93	765,2

11:15	60	89	742,1
11:20	72	89	736,5
11:25	78	80	728,1
11:30	78	86	741,6

É importante citarmos, que em alguns momentos a radiação juntamente com as temperaturas podem diminuir em função de alguma alteração climáticas como as nuvens. Outra informação é que esses ensaios foram realizados



Figura 37. Assamento de uma pizza no Protótipo 01.

Fonte: Autor.

Apesar das temperaturas interna e do absorvedor serem bem inferior as de um forno convencional a gás o forno solar produziu o assamento da pizza em 25 minutos, tempo competitivo com os obtidos em outros fornos fabricados e testados no LMHES e no mundo.

Em relação ao forno convencional, o tempo obtido foi o dobro, que segundo uma produtora corresponde a 12 minutos, porém ressalte-se a relação custo-benefício apresentada pelo forno solar em estudo e que tal protótipo solar seria utilizado principalmente por pessoas de baixa renda. A Figura 35 mostra o comportamento das temperaturas do absorvedor e do ar no interior do forno no teste para assamento da pizza e a Figura 35 mostra o forno solar produzindo o assamento de uma pizza e a pizza após assada.

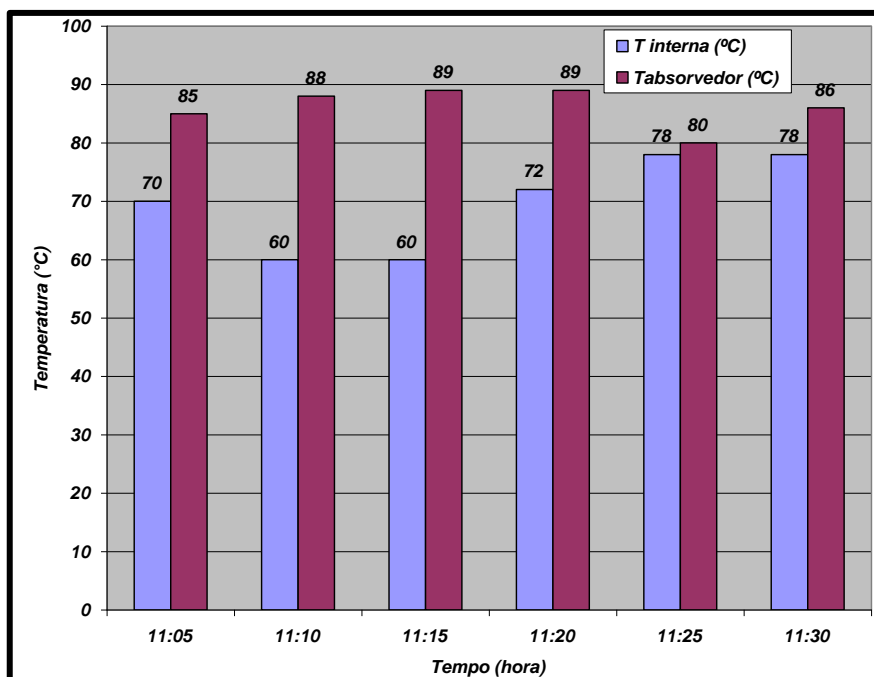


Figura 38. Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de uma pizza no forno solar – Protótipo I.

Fonte: autor



Figura 39. Pizza em assamento e após assada no Protótipo I.

Fonte: autor.

Outro teste realizado foi o assamento de uma lasanha. A Tabela 6 apresenta os dados medidos para a operação de assamento de uma lasanha de 460g. A lasanha foi colocada às 11:43 horas, e nesse instante a temperatura ambiente era de 30,0°C, a sensação térmica, 34,0°C e a umidade 62%. A Figura mostra o comportamento das temperaturas do absorvedor e do ar no interior do forno e a Figura 37 a lasanha em assamento e após assada.



Figura 40. Assamento de uma lasanha no forno solar – Protótipo I.
Fonte: Autor

Tabela 6. Resultados térmicos do teste para assamento de uma lasanha no Protótipo I. **Fonte:** Autor.

Tempo (Hora)	$T_{\text{int.forno}}$ (°C)	$T_{\text{absorvedor}}$ (°C)	I_d (W/m ²)
11:43	56	69	741,2
11:48	54	82	738,5
11:53	60	83	742,6
11:58	68	84	744,2
12:03	69	87	745,7
12:08	73	87	735,5
12:13	76	89	732,8
12:18	75	85	725,8
12:23	73	88	732,4

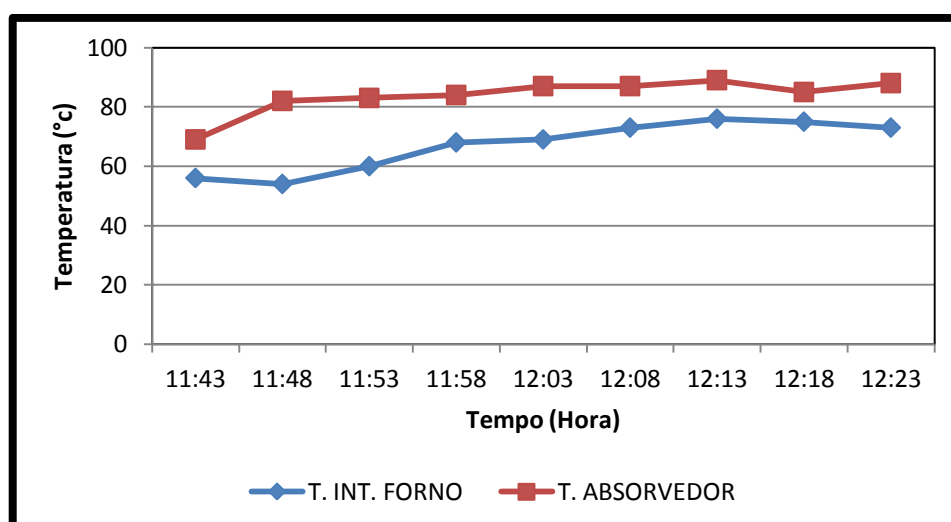


Figura 41. Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de uma lasanha no forno solar – Protótipo I.
Fonte: autor

As temperaturas interna do forno e do absorvedor estiveram bem abaixo das alcançadas com um forno convencional a gás em cerca de 200°C. Porém, considerando-se que o tempo de assamento de um lasanha em um fogão convencional a gás, segundo instruções de preparo do fabricante acontece em cerca de 30 minutos, o forno solar construído mostrou-se viável para assar esse alimento, principalmente pelo seu baixo custo. Seu tempo para assar o alimento testado foi 50,0% superior. As condições solarimétricas foram muito boas durante o teste. A radiação solar esteve em níveis de grande magnitude.

Uma medida que causa uma significativa melhoria na eficiência do processo de assamento é colocar o forno exposto ao sol com algum tempo antes do início do processo de colocação do alimento, para produzir seu pré-aquecimento, geralmente esse tempo é cerca de 15 min. a 30 min., o que acontece também nos fornos convencionais, onde essa recomendação é sugerida, para uniformizar sua temperatura.

Segundo as instruções da fabricante da lasanha e pizza, para o uso em fornos a gás, é importante um pré-aquecimento sugerido em torno de 20 minutos a cerca de 200°C, em seguida colocar o alimento para ser devidamente assado.

A temperatura da superfície externa média do forno ficou em torno de 48,0°C, 13,0°C acima da temperatura ambiente. Ressalte-se que toda superfície externa tem cor preta e está exposta aos raios solares, o que contribui para o aumento de sua temperatura. Esse baixo nível de perda revela um bom isolamento térmico do tambor, que foi feito com placas de EPS.

Os testes realizados demonstraram a viabilidade de uso do forno solar proposto na configuração I. Seu uso massivo pode ser de grande significância em uma política social de geração de emprego e renda para comunidades pobres, que poderiam produzir assados a um baixo custo e usando uma energia limpa, ecologicamente correta e que promove o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a redução do uso da lenha como fonte energética.

4.3 RESULTADOS PROTÓTIPO II

No teste sem carga, com o forno ficando exposto ao sol por uma hora, as máximas temperaturas do absorvedor e do ar interno alcançados foram de respectivamente 120,8°C e 80,4°C, temperaturas bem inferiores as obtidas em um forno convencional a gás. A absorção da energia, sendo transformada em calor e tendo essa temperatura com o equipamento sem elementos que provoquem a perda ou o aumento da inércia térmica.

Para o primeiro ensaio com carga foram usados dois alimentos colocados separadamente no forno. Os *nuggets* de frango (300g) foram colocados às 11:15 da manhã e retirados 35 minutos depois. Segundo instruções de preparo do fabricante leva-se entre 15 a 25 minutos em um forno convencional a gás. Para esse primeiro experimento a temperatura máxima do absorvedor foi de 117°C e a temperatura interna de 76°C.

O segundo alimento a ser testado foi uma pizza de 460g, colocada às 12:10 e retirada às 12:30. O tempo de assamento de uma pizza em fogão convencional a gás fica em torno de 10 minutos.

A Tabela 7 apresenta os dados coletados durante a realização dos testes para assamento dos dois alimentos e o gráfico da Figura 38 mostra o comportamento das temperaturas do absorvedor e do ar no interior do forno. A temperatura ambiente teve média em torno de 29,0°C durante o teste, a sensação térmica de 32,6°C e a umidade relativa do ar de 70%. Ressalte-se as excelentes condições solarimétricas nesse dia com radiação solar global média acima de 900W/m².

Tabela 7. Resultados dos testes para o assamento de uma pizza e nuggets de frango – Protótipo II

Fonte: Autor.

TABELA DE RESULTADOS PARA TESTES REALIZADOS NO DIA 15/10/2012				
HORÁRIO	TEMPERATURA ABSORVEDOR	TEMPERATURA INTERNA	OBSERVAÇÕES	RADIAÇÃO SOLAR
11:00	91	64	SEM CARGA	976
11:10	101	74	SEM CARGA	972
11:15	67	65	COLOCAÇÃO NUGETS	969
11:20	64	68	NUBLADO	968
11:25	71	74	-	967
11:30	77	74	-	967
11:40	80	74	-	957
11:50	87	67	NUBLADO/RETIRADA NUGETS	948
12:00	117	76	SEM CARGA	930
12:10	62	68	PIZZA	935
12:20	64	66	NUBLADO	928
12:30	71	64	TIRAR PIZZA	920
12:40	103	62	SEM CARGA	902
12:50	110	70	SEM CARGA	896
13:00	103	67	SEM CARGA	894

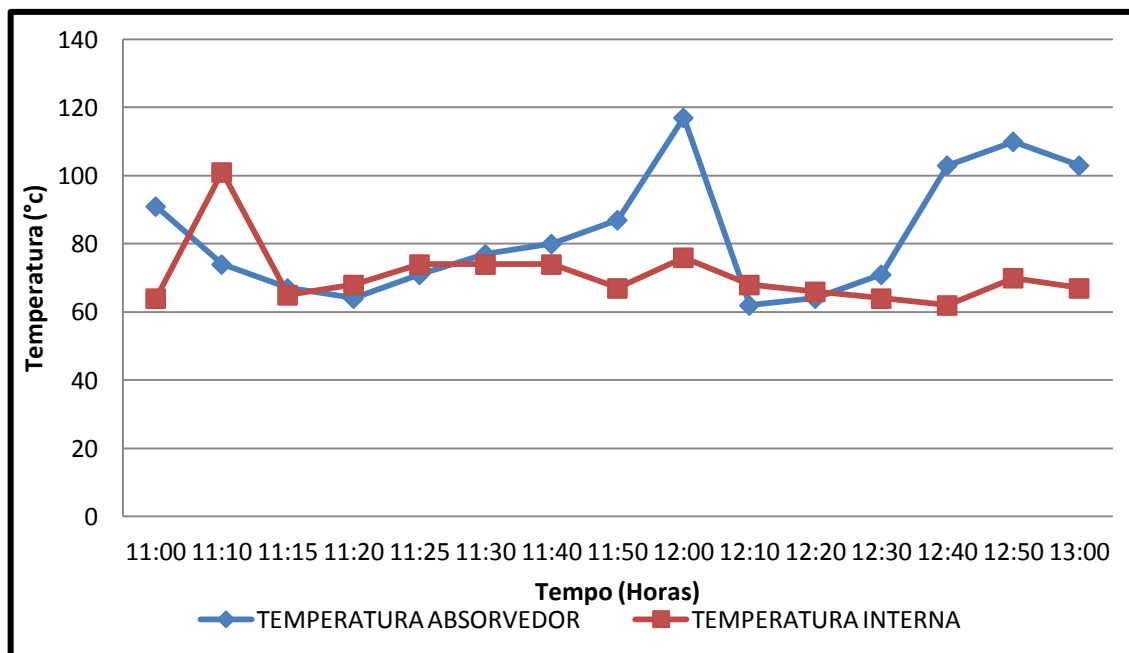


Figura 42. Comportamento assumido pelas temperaturas interna e do absorvedor durante o teste de assamento de pizza + nuggets no forno solar – Protótipo II.

Fonte: autor

Os tempos de assamento para os dois alimentos testados são superiores aos obtidos com um fogão convencional a gás, porém o forno solar proposto mostrou-se viável para produzir o assamento desses alimentos, principalmente pelo fato de utilizar uma energia limpa, inesgotável e ambientalmente correta, e barata em relação à fonte convencional mais utilizada para tal fim. A Figura 41 mostra os nuggets e a pizza em processo de assamento no forno.



Figura 43. Nuggets e pizza em processo de assamento no forno estudado.

Fonte: Autor

Percebendo que a área interna do forno permitia o assamento de dois alimentos de forma simultâneo, partiu-se para o assamento nessa configuração: inicialmente foram assados

um bolo (700g) + cinco empanados (500g) e em seguida dois bolos (1400g). Os resultados dos testes operacionalizados encontram-se mostrados na sequência.

A Tabela 8 apresenta os resultados das temperaturas interna do forno e do absorvedor e da radiação solar global. O teste começou as 11:00 horas. As temperaturas do absorvedor e do ar no interior do forno antes da colocação dos dois alimentos, bolo + empanados, estavam em 110°C e 80°C, respectivamente. A temperatura ambiente teve media em torno de 30,8°C durante o teste, a sensação térmica de 36,4°C e a umidade relativa do ar de 60%. A radiação solar global média ficou em torno de 900W/m². O completo assamento dos empanados aconteceu em a pizza aconteceu em 40 minutos e do bolo em 80 minutos.

Tabela 8. Resultados coletados no ensaio de assamento simultâneo: bolo + empanados – Protótipo II.

Fonte: Autor

DATA	TEMP O (Hora)	TEMP. ABSORVEDOR (°C)	TEMP. INT. FOGÃO (°C)		OBSERVAÇÕES
25/1/2013	11:00	110	80		COLOCAÇÃO DO BOLO + EMPANADOS
25/1/2013	11:10	73,7	62,4		
25/1/2013	11:20	81,7	69,2		
25/1/2013	11:30	83,5	73,3		
25/1/2013	11:40	90,8	74,1		RETIRADA DOS EMPANADOS
25/1/2013	12:00	96,2	85,2		
25/1/2013	12:20	87,2	77,7		RETIRADA DO BOLO
Data	Hora	Tamb(°c)	umidade (%)	ST (°c)	lg(W/m ²)
25/1/2013	11:00	31,2	64	35,9	799
25/1/2013	11:30	31,3	63	36	1032
25/1/2013	12:00	30,9	64	35,6	929
25/1/2013	12:30	31,2	63	35,9	813

Ao ser colocado os alimentos o forno estava em um período sem carga térmica, isso origina um estado de elevação das temperaturas, logo após o início do assamento as temperaturas caíram de forma imediata como exposto na tabela anterior. As temperatura interna do forno e da base estiveram abaixo das alcançadas com um forno convencional a gás. Os tempos de assamento, 40 minutos e 80 minutos, foram bem superiores aos obtidos com forno convencional a gás, entre 15 - 20 minutos e entre 30 – 40 minutos. Porém, o forno proposto produziu o assamento dos dois alimentos simultaneamente. Essa capacidade de assamento de dois alimentos representa um diferencial do forno estudado em relação a muitos outros mostrados pela literatura solar para assamento de alimentos.

Considerando-se que o tempo médio de assamento de um bolo, para a massa utilizada, 700g, gira em torno de 60 minutos, a tempo obtido é bem significativo, uma vez que o assamento foi produzido com carga de dois alimentos. Ressalte-se as excelentes condições solarimétricas no dia do teste. A Figura 41 mostra os alimentos em assamento e posteriormente assados.



Figura 44. Bolo + Empanados em assamento simultâneo.

Fonte: Autor

A Tabela 9 apresenta os resultados das temperaturas interna do forno e do absorvedor e da radiação solar direta para o teste de assamento de dois bolos. O teste começou as 11:00 horas. As temperaturas do absorvedor e do ar no interior do forno antes da colocação dos dois

bolos, estavam em 120,5°C e 80,3°C, respectivamente. A temperatura ambiente teve media em torno de 29,3°C durante o teste, a sensação térmica de 33,2°C e a umidade relativa do ar de 70%. A radiação solar global média ficou em torno de 900W/m² e 720W/m². O completo assamento dos bolos aconteceu em 90 minutos. A Figura 42 mostra os bolos em processo de assamento e posteriormente assados.

Tabela 9. Resultados do teste para assamento simultâneo de dois bolos no Protótipo II. Fonte: autor.

Fonte: autor

HORÁRIO (Hora)	T _{AR} (°C)	T _{ABSORVEDOR} (°C)	I _D (W/m ²)	
10:20	64,2	88,1	633	
10:55	68,2	100	564	
11:05	75	102	635	
11:15	74,6	113	745	
11:25	80,3	120,5	821	Colocação dos bolos
11:35	61	58	812	
11:45	63	71	807	
11:55	57,6	63,6	804	
12:05	65	70,3	816	
12:15	70	77	834	
12:25	70,2	76	840	
12:35	67,5	79,5	795	
12:45	65,4	80,8	765	
12:55	67,7	82,2	748	Retirada dos bolos



Figura 45. Bolos em processo de assamento e após assados no Protótipo II.

Fonte: Autor

As temperatura interna do forno e da base estiveram abaixo das alcançadas com um forno convencional a gás. O tempo de assamento, 1:30 minutos foi bem superior ao obtidos com forno convencional. Porém, o forno proposto produziu o assamento dos dois bolos a um custo energético muito baixo. Ressalte-se as importâncias social e ambiental que a utilização de tal forno pode trazer.

Considerando-se que o tempo médio de assamento de um bolo, para a massa utilizada, 700g, gira em torno de 60 minutos, a tempo obtido é bem significativo, uma vez que o assamento foi produzido com carga de dois alimentos. Ressaltem-se as excelentes condições solarimétricas no dia do teste.

Para o diagnóstico da perda térmica do forno foram medidas as temperaturas das suas superfícies externas. A Figura 42 apresenta os valores médios de temperaturas medidos durante a realização do teste sem carga, as 11:30 horas.

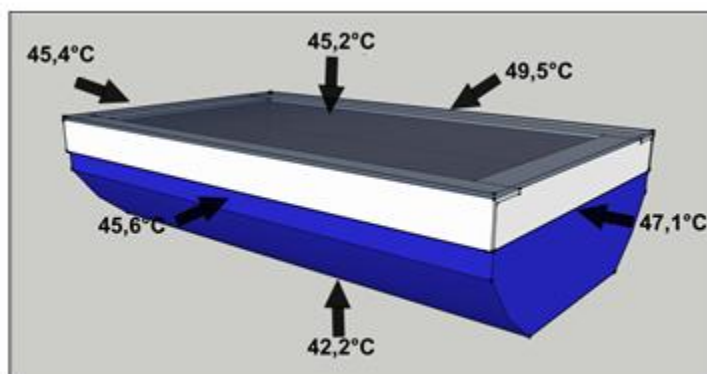


Figura 46. Disposição dos pontos de medição nas superfícies externas do forno solar com seus respectivos valores.

Fonte: Autor

O ponto de maior temperatura foi no vidro externo, explicado pela concentração dos raios provenientes da superfície refletora colocada acima do forno, endereçados ao interior do forno. Como a temperatura ambiente esteve em torno de 31°C, em média a diferença de temperatura entre as superfícies externas e o ambiente ficou em torno de 18,5°C.

A perda térmica pelo fundo poderia ser minimizada pela diminuição do volume interno do forno com a colocação de um isolante térmico entre o fundo interno do forno e a chapa absorvedora.

Apesar dessa diferença de temperatura as perdas não são significativas, não constituindo-se em fator de que inviabilize a performance térmica do forno proposto.

A Tabela 10 apresenta resultados comparativos entre os tempos de assamento dos dois protótipos e os relativos ao forno convencional a gás e a outros fornos da literatura solar. A radiação solar global média para todos os testes ficou em torno de 900W/m^2 e a radiação direta média em torno de 720 W/m^2 , condições solarimétricas excelentes para utilizações térmicas da energia solar.

Tabela 10. Comparação entre os tempos de secagem obtidos com fornos solares e forno convencional a gás. Fonte: Autor.

ALIMENTO	Massa (g)	Tafe (min)	Tafg (min)	Tafs (min)	I_g (°C)	I_d (°C)
			PROTÓTIPO I			
PIZZA	460	20	10	15-25	880	704
LASANHA	650	40	30	40 - 55		
			PROTÓTIPO II			
NUGGETS	300	35	15 - 20	30 - 45		
PIZZA	460	20	10	15 - 25		
EMPANADOS + BOLO						
EMPANADOS	500	40	20	35-50	841	672,8
BOLO	700	80	30 - 40	50 - 80	866	692,8
BOLO +BOLO	1400	90	45	70 - 100		

De forma geral o forno solar na configuração II mostrou-se mais viável, não apenas em função dos seus resultados, mas por apresentar uma melhor estética, uma maior capacidade de suportar intempéries, uma maior capacidade de vedação e um maior isolamento térmico.

Outro problema que aconteceu no Protótipo I foi a necessidade de um suporte para abrigar as placas absorvedoras e também o foco do forno devido ao perfil cilindro-parabólico ficava muito próximo ao vidro de cobertura, provocando constante condensação, exigindo a sua abertura para limpeza, o que causava diminuição das temperaturas do forno, e consequente aumento do tempo de assamento dos alimentos.

Os testes operacionalizados com o fogão solar em estudo para todos os alimentos testados demonstraram sua viabilidade e seu uso massivo pode ser de grande significância em uma política social de geração de emprego e renda para comunidades pobres, que poderiam produzir bolos a um baixo custo e usando uma energia limpa, ecologicamente correta e que

promove o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a redução do uso da lenha como fonte energética.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O Protótipo II mostrou-se viável para assar os alimentos escolhidos, podendo trazer economia e minimizar problemas de ataque à ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha, foi verificado sua capacidade de assamento no período de 9:00 às 14:00 horas, dentro de boas condições solarimétricas;

2. Os tempos de assamento dos alimentos foram bem superiores aos obtidos com o forno convencional a gás em função de suas temperaturas interna e do absorvedor serem bem inferiores;

3. Os tempos de assamento dos alimentos testados são competitivos com os apresentados na literatura solar para cocção de alimentos, além de sua capacidade de assar mais de um alimento simultaneamente;

4. Outras vantagens adquiridas foram o custo de fabricação do forno proposto ficando em torno de 150 reais, estando no limite inferior da faixa média para tais protótipos entre 150 e 300 reais, para fins que não visam lucro, o fácil processo de fabricação e montagem, podendo sua tecnologia de fabricação ser repassada para comunidades carentes;

5. O Protótipo II é mais viável que o Protótipo I, principalmente pela estética, vedação, tempo de vida e o efeito estufa, gerando uma eficiência comprovada de 57%, eficiência essa na faixa de outros fornos solares;

6. O forno solar fabricado apresenta boa relação custo x benefício pelo seu baixo custo de fabricação, fácil operacionalidade necessitando apenas de um treinamento prévio;

7. Realizar ensaios para vários tipos de alimentos em todas as estações do ano para uma avaliação mais real do desempenho do forno solar proposto;

8. Melhorar a capacidade de isolamento térmico para minimizar as perdas térmicas, o que poderá diminuir o tempo de assamento dos alimentos;

9. Testar simultaneamente os dois protótipos, para o assamento de um mesmo alimento, para uma melhor avaliação comparativa do desempenho térmico entre dos dois fornos, sob mesmas condições solarimétricas.

6 REFERÊNCIAS

Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007 / Empresa de Pesquisa Energética, EPE, Rio de Janeiro, 2008.

Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010 / Empresa de Pesquisa Energética, EPE, Rio de Janeiro, 2011.

BRAGA, Benedito *et al*, Introdução à engenharia ambiental o desafio do desenvolvimento sustentável, 2 ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2005.

BEZERRA, A. M. Aplicações térmicas de energia solar. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2002.

COMETA, E. Energia solar: utilização e empregos práticos. São Paulo: Editora Hemus, 2004. 127 p.

FILHO, R. E. B. R. Análise de Desempenho de um Fogão Solar Construído a Partir de Sucatas de Antena de TV, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.

FIGUEIREDO, Núbia Maria Almeida de, método e metodologia na pesquisa científica, 3º ed., Yedes, São Caetano do Sul, SP, 2008.

Fontes de energia: Disponível em ecoguia.cm-mirandela.pt/index.php?oid=86. Acessado no dia 19/12/2013.

FRANKENTAL, M. T. A. Fabricação e Estudo de Protótipo Solar de Baixo Custo Para Aplicações em Comunidades carentes. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

GOMES, J. W. Construção e Análise de Desempenho de um Forno/Fogão Solar Tipo Caixa Alternativo Construído a Partir de uma Sucata de Pneu. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.

GURGEL, R. F. Estudo de um Forno Solar Fabricado em EPS sem Absorvedores. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2013.

LAYRARGUES, P. P. Sistemas de Gerenciamento Ambiental, Tecnologia Limpa e Consumidor Verde: a delicada relação empresa-meio ambiente no ecocapitalismo. São Paulo. 2000.

LION, C. A. P. Q. Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Utilizando Dois Focos Para Cozimento Direto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2007.

LION, C. A. P. Q., Desenvolvimento e caracterização de compósito da borra da piaçava para construção de parábola de um fogão solar à concentração, Tese de Doutorado do PPGCEM/UFRN, Natal, 2013.

MARTINEZ, Pedro Sarmiento, *Energía Solar aplicaciones e ingeniería*, 4 ed. Val Paraíso, Chile, 2009.

MELO, A. V. Desempenho de um Fogão Solar Tipo Caixa Construído a Partir de uma Sucata de um Fogão Convencional à Gás. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

NETO, M. C. M. Fogão solar à Concentração com Parábola Refletora Construída em Material Compósito. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.

PITTA, B. C. Forno Solar Fabricado a Partir de Sucata de Vidro. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

QUEIROZ, W. F. Construção de um Fogão Solar à Concentração Para Cozimento Direto e Indireto, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2005.

SILVA, L. C. D. Forno/Fogão Solar Fabricado a Partir de um Banco em Desuso e Sucata de Vidro. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

SOCIEDADE DO SOL. Forno Solar de Baixo Custo. Disponível em:
< <http://www.sociedadedosol.org.br/projetos/forno-solar/> />. Acesso em 14/08/ 2013.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL. ABOUT SCI. Disponível em: <http://solarcooking.wikia.com/wiki/Category:Solar_cooker_plans>. Acesso em: 04 Out. 2013.

SOUZA, L. G. M. *et al.* Fogão solar à concentração construído a partir de uma sucata de antena parabólica. VI CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador-BA, 2008.

SOUZA, L. G. M. *et al.* Forno solar de baixo custo fabricado com blocos confeccionados em material compósito. VI CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador-BA, 2008.

SOUZA, L. G. M *et al.* Solar Cooking Built in Composite Material. 20th COBEM - International Congress of Mechanical Engineering. Gramado-RS, 2009.

SOUZA, L.G.M. *et al.* Forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer. VII CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Natal-RN, 2012.

SOUZA, L.G.M. *et al.* Material Compósito a partir dos resíduos de cabelos. 20^oCBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Joinville-SC, 2012.

SOUZA, R. M. Forno Solar Fabricado a Partir de uma Caixa de EPS. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

SOUZA, L. G. M. *et al.*, Solar cooker with concentration parable made from piaçava composite, COBEM- 2013, Ribeirão Preto/SP.

SOUZA, L. G. M. *et al.*, Solar oven manufactured in composite low termal condutivity, COBEM- 2013, Ribeirão Preto/SP.

SOUZA, L. G. M. *et al.*, Solar oven manufactured from a EPS termal box, COBEM- 2013, Ribeirão Preto/SP.

SOUZA, L. G. M. *et al.*, Otimização de um fogão solar à concentração para cocção de alimentos, , CIBIM- 2013, La Plata/ARG.

SOUZA, L. G. M. *et al.*, Viabilidade de uso de um forno solar para assamento de alimentos fabricado a partir de uma sucata de banco e vidros de janelas, CIBIM- 2013, La Plata/ARG.

THOMAS, J. E. *et al.* 2001. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro, Interciência, PETROBRAS.

VARELA, P.H.A., Viabilidade térmica de um forno solar fabricado com sucatas de pneu, Dissertação de mestrado do PPGEM/UFRN, Natal, 2013.

VILLALVA, MARCELO GRADELLA, GAZOLI, JONAS RAFAEL, Energia solar fotovoltaico conceitos e aplicações sistemas isolados e conectados a rede, 1 ed., Érica, São Paulo, 2012.